

120096
-3

에너지 생산·저장·관리 및 실증모델 구축
원예시설의 공조를 위한 태양열·지열 융복합

2023

농림축산식품부
농림식품기술기획평가원

보안 과제(), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개()발간등록번호(O)
농업에너지 자립형 산업모델 기술개발사업 2023년도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-004387-01

원예시설의 공조를 위한 태양열·지열 융복합 에너지 생산·저장·관리 및 실증모델 구축

2023.06.02.

주관연구기관 / 한국에너지기술연구원
협동연구기관 / 장한기술(주)
/ 경북대학교 산학협력단

농림축산식품부
(전문기관)농림식품기술기획평가원

제출문

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “원예시설의 공조를 위한 태양열·지열 융복합 에너지 생산·저장·관리 및 실증모델 구축”(개발기간 : 2020. 04. ~ 2022. 12.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2023. 06. 02.

주관연구기관명 : 한국에너지기술연구원 김종남

협동연구기관명 : 장한기술(주) 유해성

협동연구기관명 : 경북대학교 산학협력단 공성호



주관연구책임자 : 김민휘

협동연구책임자 : 유해성

협동연구책임자 : 이현우

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

< 요약 문 >

사업명		농업에너지 자립형 산업모델 기술개발사업		총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)			
내역사업명 (해당 시 작성)		에너지 저장·관리기술 개발		연구개발과제번호		120096-3	
기술 분류	국가과학기술 표준분류	LB0203	50 %	LB0802	30 %	EF0602	20%
	농림식품 과학기술분류						
총괄연구개발명 (해당 시 작성)							
연구개발과제명		원예시설의 공조를 위한 태양열·지열 융복합 에너지 생산·저장·관리 및 실증모델 구축					
전체 연구개발기간		2020. 04. 29 - 2021. 12. 31(2년 7개월)					
총 연구개발비		총 6,542,000 천원 (정부지원연구개발비: 5,000,000 천원, 기관부담연구개발비 : 1,542,000 천원)					
연구개발단계		기초[] 응용[] 개발[<input checked="" type="checkbox"/>] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]		기술성숙도 (해당 시 작성)		착수시점 기준() 종료시점 목표()	
연구개발과제 유형 (해당 시 작성)							
연구개발과제 특성 (해당 시 작성)							
연구개발 목표 및 내용		최종 목표		4,300 m ² (1,300평) 규모 온실을 대상으로 난방부하 80%와 냉방부하 50% 이상을 담당할 수 있는 계간축열식 태양열 및 지열원 히트펌프 적용 재생에너지 융복합 시스템을 구축하고, 실증연구를 통해 연간 에너지 비용 70% 이상을 절감하는 통합에너지 시스템 구성/관리운영 방안을 제시하고 검증함			
		전체 내용		<ul style="list-style-type: none"> ○ 주요 기능: 실증대상 온실의 연중 냉난방 부하 대부분을 감당할 수 있는 재생에너지 융복합(태양열·지열) 통합에너지 시스템 설계 및 구축 ○ 주요 성능: 실증대상 온실의 냉난방을 위한 통합에너지 시스템은, 계간축열조 이용 태양열 설비를 기반으로 하고 지열원 히트펌프를 보조열원으로 활용하는 난방 시스템과, 지열원 및 공기열원(냉각탑) 히트펌프를 활용하는 냉방 시스템으로 구성되어 에너지비용 70%를 절감을 목표로 함 ○ 핵심 개발 기술: <ul style="list-style-type: none"> ■ 태양 복사에너지를 이용하여 열과 전기를 동시 생산하는 PVT 집열기 및 일반 태양열 집열기와 지열원 히트펌프 시스템, 그리고 계절간(또는 일간) 부하평준화를 위한 계간축열조를 포함한 축열시스템으로 구성된 통합에너지 시스템 설계 및 구축 • PVT 집열기 및 일반 태양열 집열기를 활용하는 태양열 시스템과 여기서 생산된 열에너지 중 이용하고 남은 열에너지를 저장하는 계간축열 시스템 최적 용량 산정 및 구축 기술 • 필요 시 TTES(탱크축열) 또는 BTES(지중축열) 각 방식 계간축열조의 최적 분배비율 산정 및 구축 기술 • 계간축열조 등 수축열 시스템의 온도성충화를 위한 제어 기술 • 난방 보조설비로써 지열원 히트펌프의 최적 용량 산정과 구축 기술 • 냉방운전에 이용하는 히트펌프의 열원으로써 지열원 및 공기열원(냉각탑) 활용 비율 최적 산정 및 구축 기술 • 히트펌프의 안정적 운용 및 용량 축소와 부하평준화 및 비정상부하 대응을 위한 보조 축열시스템 최적 용량 산정 및 구축 기술 ■ 이러한 통합에너지 시스템을 이용하여 실증운전을 수행하면서, 실증대상 온실의 연중 난방부하 80%와 냉방부하 50% 이상을 담당하 			

		<p>도록 하는 최적 운용관리 기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> • 성능 검증을 위한 모니터링 및 제어 시스템 구축 • 1년 이상의 실증운전을 통한 통합에너지 시스템의 성능분석 • 성능분석 결과를 활용한 개선사항 도출과 개선 ■ 실증운전 결과 및 개선사항을 반영한 통합에너지 시스템 운영 매뉴얼 작성 ■ 각 에너지 설비 설치비용과 현장여건을 감안한 복수의 보급형 온실 대상 통합에너지 시스템 표준모델 개발
1단계	목표	4,300 m ² (1,300평) 규모 온실을 대상으로 난방부하 80%와 냉방부하 50% 이상을 담당할 수 있는 계간축열식 태양열 및 지열원 히트펌프 적용 재생에너지 융복합 시스템 구축
	내용	<ul style="list-style-type: none"> ■ 태양 복사에너지를 이용하여 열과 전기를 동시 생산하는 PVT 집열기 및 일반 태양열 집열기와 지열원 히트펌프 시스템, 그리고 계절간(또는 일간) 부하평준화를 위한 계간축열조를 포함한 축열시스템으로 구성된 통합에너지 시스템 설계 및 구축 • PVT 집열기 및 일반 태양열 집열기를 활용하는 태양열 시스템과 여기서 생산된 열에너지 중 이용하고 남은 열에너지를 저장하는 계간축열 시스템 최적 용량 산정 및 구축 기술 • 필요 시 TTES(탱크축열) 또는 BTES(지중축열) 각 방식 계간축열조의 최적 분배비율 산정 및 구축 기술 • 계간축열조 등 수축열 시스템의 온도성충화를 위한 제어 기술 • 난방 보조설비로써 지열원 히트펌프의 최적 용량 산정과 구축 기술 • 냉방운전에 이용하는 히트펌프의 열원으로써 지열원 및 공기열원(냉각탑) 활용 비율 최적 산정 및 구축 기술 • 히트펌프의 안정적 운용 및 용량 축소와 부하평준화 및 비정상부하 대응을 위한 보조 축열시스템 최적 용량 산정 및 구축 기술
2단계	목표	구축된 계간축열식 태양열 및 지열원 히트펌프 적용 재생에너지 융복합 시스템에 대한 실증연구를 통해 연간 에너지 비용 70% 이상을 절감하는 통합에너지 시스템 구성/관리운영 방안을 제시하고 검증함
	내용	<ul style="list-style-type: none"> ■ 통합에너지 시스템을 이용하여 실증운전을 수행하면서, 실증대상 온실의 연중 난방부하 80%와 냉방부하 50% 이상을 담당하도록 하는 최적 운용관리 기술 개발 • 성능 검증을 위한 모니터링 및 제어 시스템 구축 • 1년 이상의 실증운전을 통한 통합에너지 시스템의 성능분석 • 성능분석 결과를 활용한 개선사항 도출과 개선 ■ 실증운전 결과 및 개선사항을 반영한 통합에너지 시스템 운영 매뉴얼 작성 ■ 각 에너지 설비 설치비용과 현장여건을 감안한 복수의 보급형 온실 대상 통합에너지 시스템 표준모델 개발

연구개발성과	<예상되는 연구개발성과 유형>											
	구분	논문	특허	보고서 원문	연구 시설 · 장비	기술 요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
	예상성과 (N/Y)	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	생명 정보	생물 자원	정보	실물
연구개발성과 활용계획 및 기대 효과	<ul style="list-style-type: none"> • 신규 및 개보수 온실의 공조용 재생에너지 융복합 설비 설치 가이드로 활용 • 농산물 저장창고 에너지 설비 구축 시 활용 • 작물의 안정적인 생산량 확보가 가능하여 소득증대에 기여 • 화석연료 이용 감소와 온실가스 배출 저감으로 정부의 기후변화대응 정책에 기여 • 신재생에너지 이용에 따른 화석에너지 및 운영비용 절감 기대 											
연구개발성과의 비공개여부 및 사유												

연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구 시설 ·장비	기술 요약 정보	소프트 웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
								생명 정보	생물 자원		정보	실물
	19	10										
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)	온실		재생에너지		융복합		축열		냉난방			
영문핵심어 (5개 이내)	Greenhouse		Renewable Energy		Convergence		Thermal Energy Storage		Heating & Cooling			

최종보고서							보안등급				
							일반[], 보안[]				
중앙행정기관명	농림축산식품부			사업명	사업명		농업에너지 자립형 산업모델 기술개발사업				
전문기관명 (해당 시 작성)	농림식품기술기획평가원				내역사업명 (해당 시 작성)		에너지 저장 관리기술 개발				
공고번호	농축2020-136호			총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)		연구개발과제번호		120096-3			
기술분류	국가과학기술 표준분류	LB0203	50%	LB0802	30%	EF0602	20%				
	농림식품과학기술분류										
총괄연구개발명 (해당 시 기재)	국문										
	영문										
연구개발과제명	국문	원예시설의 공조를 위한 태양열·지열 융복합 에너지 생산·저장·관리 및 실증모델 구축									
	영문	The demonstration model construction of solar and geothermal convergence energy production, storage and management system for greenhouse									
주관연구개발기관	기관명	한국에너지기술연구원		사업자등록번호		314-82-02242					
	주소	(위)34129 대전시 유성구 가정로 152		법인등록번호		160122-0001982					
연구책임자	성명	김민휘		직위		선임연구원					
	연락처	직장전화	042-860-3507		휴대전화		010-3367-9952				
		전자우편	mhkim001@kier.re.kr		국가연구자번호		10964759				
연구개발기간	전체	2020. 04. 29 - 2022. 12. 31(2년 7개월)									
	단계	1단계	2020. 04. 29 - 2022. 12. 31(1년 7개월)								
		2단계	2022. 01. 01 - 2022. 12. 31(1년 개월)								
연구개발비 (단위: 천원)	정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금				합계	연구개발비 외 지원금		
	현금	현금	현물	지방자치단체		기타()					
총계	5,000,000	0	1,542,000	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계	지원금
1단계	1년차	1,500,000	0	500,000				1,500,000	500,000	2,000,000	
	2년차	2,000,000	0	667,000				2,000,000	667,000	2,667,000	
2단계	3년차	1,500,000	0	375,000				1,500,000	375,000	1,875,000	
공동연구개발기관 등 (해당 시 작성)	기관명	책임자		직위	휴대전화	전자우편	비고				
		역할	기관유형								
공동연구개발기관	장한기술(주)	유해성		대표	041-359-2100	hsyu@jangan.co.kr	공동 중소기업				
	경북대학교	이현우		교수	053-950-5736	whlee@knu.ac.kr	공동 대학				
연구개발과제 실무담당자	성명	이동원		직위	책임연구원						
	연락처	직장전화	042-860-3533		휴대전화		010-8958-7646				
		전자우편	dwlee@kier.re.kr		국가연구자번호						

이 단계보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 연구개발과제 중단, 협약 해약, 제재처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2022 년 12 월 31 일

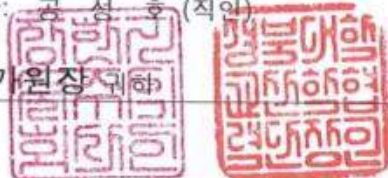
연구책임자: 김 민 휘

주관연구개발기관의 장: 김 충 남

공동연구개발기관의 장: 유 해 성 (직인)

공동연구개발기관의 장: 공 성 호 (직인)

농림축산식품부장관·농림식품기술기획평가원장 귀하



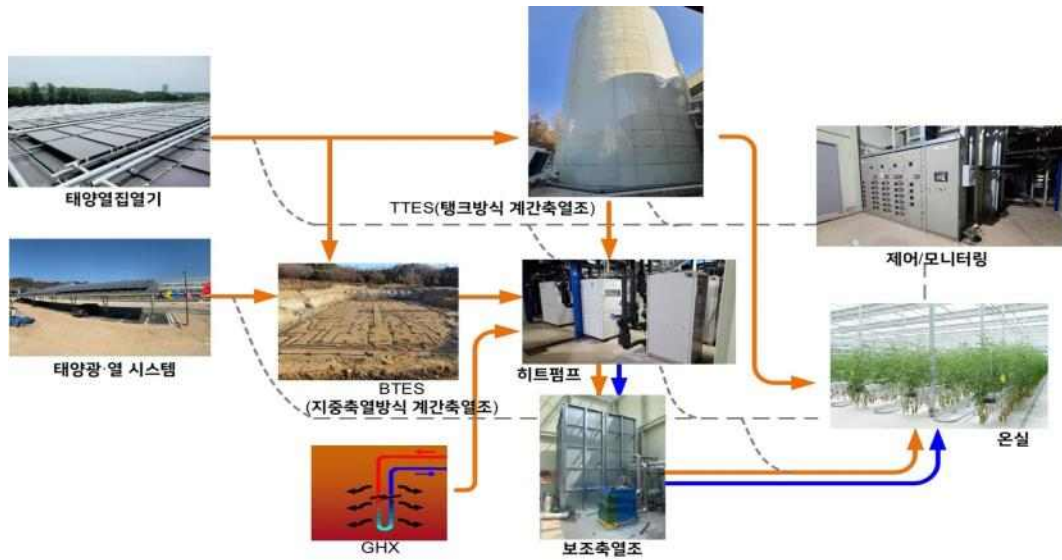
〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요	1
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용	2
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도	7
4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)	147
5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여정도	147
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획	148
<별첨 자료>	
별첨1 자체평가의견서	155
별첨2 연구결과활용계획서	160
별첨3 푸르메여주팜 통합설비 매뉴얼	163

1. 연구개발과제의 개요

1-1. 최종목표

- 4,300 m²(1,300평) 규모 온실을 대상으로 난방부하 80%와 냉방부하 50% 이상을 담당할 수 있는 계간축열식 태양열 및 지열원 히트펌프 적용 재생에너지 융복합 시스템을 구축하고, 실증연구를 통해 연간 에너지 비용 70% 이상을 절감하는 통합에너지 시스템 구성/관리운영 방안을 제시하고 검증



[계간축열조 및 재생에너지 융복합 이용 온실 공조 개념도]

- 주요 기능: 실증대상 온실의 냉난방 부하에 대응하여 연중 안정적인 열원을 공급할 수 있는 계간축열조 및 신재생에너지 융복합(태양열, 지열) 시스템 설계와 구축
- 주요 성능: 실증대상 온실의 냉난방을 위해서, 계간축열조 이용 태양열 설비를 기반으로 하고 지열원 히트펌프를 보조열원으로 활용하는 난방 시스템과, 지열원 및 공기열원(or 냉각탑) 이용 히트펌프를 활용하는 냉방 시스템을 구축하여 에너지 비용 70% 이상 절감
- 핵심 개발 기술:
 - 태양 복사에너지를 이용하여 열과 전기를 동시 생산하는 PVT 집열기 및 일반 태양열 집열기, 지열원 히트펌프 시스템, 그리고 계절간(또는 일간) 부하평준화를 위한 계간축열조를 포함한 축열시스템으로 구성된 통합에너지 시스템 최적 설계 및 구축
 - PVT 집열기 및 일반 태양열 집열기를 활용하는 태양열 시스템과 여기서 생산된 열에너지 중 이 용하고 남은 열에너지를 저장하는 계간축열 시스템 최적 용량 산정 및 구축 기술
 - 필요 시 TTES(탱크축열) 또는 BTES(지중축열) 각 방식 계간축열조의 최적 분배비율 산정 및 구축 기술
 - 계간축열조 등 수축열 시스템에서의 온도성층화를 위한 제어 기술
 - 난방 보조설비로써 지열원 히트펌프의 최적 용량 산정과 구축 기술
 - 냉방운전에 이용하는 히트펌프의 열원으로써 지열원 및 냉각탑 활용 비율 최적 산정 및 구축 기술
 - 히트펌프의 안정적 운용 및 용량 축소, 그리고 부하평준화 및 비정상부하 대응을 위한 보조 축열 시스템 최적 용량 산정 및 구축 기술
 - 이러한 통합에너지 시스템을 이용하여 실증운전을 수행하면서 실증대상 온실의 연중 난방부하 80%와 냉방부하의 50% 이상을 담당하도록 하는 최적 운용·관리 기술 개발

- 성능 검증을 위한 모니터링 및 제어 시스템 구축
- 1년 이상의 실증운전을 통한 통합에너지 시스템의 성능분석
- 성능분석 결과를 활용한 개선사항 도출과 개선
- 실증운전 결과 및 개선사항을 반영한 통합에너지 시스템 운영 매뉴얼 작성
 - 사용자 편의성을 확대한 IoT기반 통합에너지 설비 모니터링 및 제어 시스템 개발
- 각 에너지 설비 설치비용과 현장여건을 감안한 복수의 보급형 온실 대상 통합에너지 시스템 표준 모델 개발

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용	연구결과
1차 년도 (2020)	원예시설의 공조를 위한 태양열·지열 융복합 에너지 생산·저장·관 리 및 실증모델 구축	통합에너지 시스템 최적설계 및 용량 산정과 계간축열조 구축 지원	<ul style="list-style-type: none"> ● PVT 및 일반 태양열 집열기와 연계된 계간축열 시스템 시뮬레이션과 지열원 히트펌프 시스템을 포함한 통합에너지 시스템 최적설계(각 에너지 설비의 최종 용량 확정 포함) 	-PVT 및 일반 태양열 집열기와 연계된 계간축열조 시뮬레이션 완료 -지열원 히트펌프가 포함된 통합에너지 시스템 설계를 통한 최종 용량 확정 -태양열집열기(462m ²) -PVT(233m ²) -TTES(1,200m ³) -BTES(28,500m ³) -HP(총130RT, 지열원 50RT, BTES열원 하이브리드 40RT, TTES열원 하이브리드 40RT)
			<ul style="list-style-type: none"> ● 계간축열 방식 별(TTES, BTES) 용량 배분과 이에 따른 온열 생산 및 공급 운전 시나리오 작성 	-계간축열방식별 용량 배분 및 온열 생산/공급 운전 시나리오 설계 완료
			<ul style="list-style-type: none"> ● 냉방 대응 지열원 히트펌프 시스템 용량 산정 및 냉난방 동시운전 시 운전 방안 개발 	-냉방 대응 지열원 히트펌프 용량 산정 및 냉난방 동시운전 시 운전 방안 개발
			<ul style="list-style-type: none"> ● 히트펌프의 지열원 및 냉각탑 배분 비율 산정과 냉열 운전 시나리오 작성 	-지열원 및 하이브리드(공기식 및 지열원 겸용) 히트펌프 배분 비율 산정 및 냉열 운전 시나리오 설계 완료
			<ul style="list-style-type: none"> ● 실증단지 계간축열조(TTES) 구축 지원 및 비정상 부하대응 축열방안 연구 	-실증단지 계간축열조 설계, 계간축열조 기초설계 및 일부시공 -비정상 부하대응 축열 및 운영방안 개발
재생에너지 융복합 이용 통합에너지 시스템	통합에너지 시스템 계통설계 및 태양열 집열기, 배관망 일부 등 구축	<ul style="list-style-type: none"> ● PVT 집열기 제작과 실증단지 내 PVT 및 일반 태양열 집열기 설치 공사 ● 실증단지 내 계간축열 	-PVT 집열기 부착을 위한 PV 모듈 선정 -PVT 모듈 개선사항 정리 -푸르메재단 스마트팜에	

템 설계·구축 및 비즈니스 모델 개발			조 설치를 위한 지질특성 (토양분석용 시추공 작업) 분석	대한 토양 채취 및 분석을 위한 굴착신고서 완료(여주시청)
			● 태양열 및 지열원 히트 펌프 시스템, 그리고 계간 축열조가 포함된 통합에너지 시스템 상세 계통도 작성	-푸르메 재단과 시스템 도입에 따른 설치 위치, 일정 및 애로사항 협의 -계통도 초안 작성
			● 실증단지 계간축열조 (BTES) 설계 및 구축과 축열조 온도변화 모니터링 체계 마련	-계간 축열조의 Form factor를 고려한 형태의 최적 설계 검토 -위치 선정을 위한 푸르메 재단과 협의완료 -온도변화 모니터링을 위한 센서 설계 및 센서 삽입을 위한 특수 지중센서 공 설계 완료
			● 예측 부하에 따른 에너지비용 최적제어 기술검토와 1차 최적운전전략 수립	-태양열 패널과 TTES의 하절기 목표 온도 도달시 BTES로의 축열을 통한 최적운전 전략 검토 중 -공사비를 고려한 TTES 및 BTES 축열 용량 검토
			● 통합에너지 시스템 기본설계에 따른 에너지 설비 일부 및 배관망 등 구축	-푸르메 재단과 기계 설비실에 대한 협의 및 배치 진행 완료 설비 배치도 초안 완료
재생에너지 융복합 이용 온실 환경 및 에너지 분석을 통한 현장 실증	실증대상 온실의 냉난방 부하 산정 및 개선된 공조시스템 설계 지원	● 실증대상 온실 제원 분석 및 에너지 시뮬레이션 모델 개발용 자료 수집	-온실 구조 및 자재 분석 -TRNSYS를 이용한 실증 온실 에너지 시뮬레이션용 기본 모델 구축	
		● 실증대상 온실의 냉난방 부하량 산정	-실증온실의 다양한 피복 조건에 따른 최대난방부하량 산정 및 비교 -온실의 시간대별 난방요구량 산정	
		● 온실 내 적정 공조 시스템 선정 및 설계 지원	-튜브레일, 그로우 튜브, 팬코일 유닛을 이용한 냉난방 공조시스템 구축	
		● 온실 내외부 환경 데이터 수집을 위한 센서 종류 및 설치 위치 확정	-에너지 분석용 데이터 수집을 위한 온실 내외부 센서 설치 위치 결정 -재배환경 측정을 위한 센서 종류 확정	

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용	연구결과
2차 년도	통합에너지 시스템,	통합에너지 시스템 및 온실 내 환경 모니터링과 제어	● 시운전 및 실증운전 총괄과 시운전을 통한 개선	● 시운전 및 실증운전 총괄 진행

(2021)	모니터링 및 제어 시스템 구축 완료와 실증운전 수행	시스템 구축 완료, 시운전을 포함한 실증운전	<ul style="list-style-type: none"> ● 사항 도출 및 반영 ● 통합에너지 시스템을 구성하는 각 에너지 설비의 성능측정을 위한 모니터링 설계 ● 통합에너지 시스템 및 실내 환경 모니터링과 제어 시스템 구축 ● 각 에너지 설비의 최적 운전(고효율 또는 고성능)을 위한 제어방안 개발 ● 에너지비용 최적제어를 고려한 2차 최적 운전전략 수립 	<ul style="list-style-type: none"> ● 시운전 개선사항 도출 및 반영 계속 ● 에너지설비의 성능 측정을 위한 모니터링 시스템 설계 완료 ● 통합에너지 시스템 운영을 위한 제어시스템 구축 완료 ● ST-TTES, PVT-BTES, 복합열원히트펌프-NTES의 최적 운영을 위한 제어방안 개발 완료 ● 에너지비용 최적제어를 고려한 운전전략 수립
			<ul style="list-style-type: none"> ● 실증운전을 통한 실내 환경 데이터 취합 및 분석(경북대 진행) ● 통합에너지 시스템 성능 분석 진행 ● 실증 시운전기간동안 온실 내 냉난방 에너지 절감량 산정 및 분석(경북대) ● 계간축열조(TTES) 운용 상태 보완 	<ul style="list-style-type: none"> ● 실증운전을 통한 실내 환경 데이터 취합 및 분석(경북대 진행) ● 통합에너지 시스템 성능 분석 진행 ● 실증 시운전기간동안 온실 내 냉난방 에너지 절감량 산정 및 분석 ● 실증 시운전 진행을 통한 TTES 운용상태 확인 및 보완을 위한 제어방안 마련
	재생에너지 융복합 이용 통합에너지 시스템 설계·구축 및 비즈니스 모델 개발	계간축열식 태양열 및 지열원 히트펌프 융복합 시스템 등 통합에너지 시스템 구축 완료와 IoT기반 모니터링/제어 체계 개발	<ul style="list-style-type: none"> ● 실증단지 내 PVT 및 일반 태양열 집열기, 계간축열조 설치 공사 완료 ● 실증단지 계간축열조(BTES) 열특성 분석을 위한 열응답 시험 수행 ● 실증단지 기계실(지열히트펌프, 보조 축열조(NTES), 제어실) 구축 및 열공급 배관망 완성 ● IoT 기반 실증단지 통합에너지 시스템 모니터링 설계안 마련 ● 사용자를 위한 IoT 모듈이 결합된 모니터링/제어 시스템 개발 ● 통합에너지 시스템 실증운전 결과 분석 및 에너지 	<ul style="list-style-type: none"> ● 실증단지 내 태양열 집열기 및 계간 축열조 공사 완료. PVT 설치 공사는 年内(12월) 완료 예정. ● 열특성 분석을 위한 열응답 시험 수행 완료. ● 실증단지 기계실 구축 완료. ● IoT 기반 실증단지 통합에너지 시스템 RTU 모듈 설계 완료 ● 사용자를 위한 IoT 모듈이 결합된 모니터링/제어 시스템 개발 계속 ● 실증운전 결과 분석을 통한 개선방안 도출함

			지 설비 개선방안 도출/개선	
<p>재생에너지 융복합 이용 온실 환경 및 에너지 분석을 통한 현장 실증</p>	<p>실증대상 온실 내 냉난방 공조 시스템 효과 검증 및 적용성 평가</p>		<ul style="list-style-type: none"> ● 시운전 및 실증운전 모니터링 결과를 바탕으로 온실 내부 환경변화 분석 	<ul style="list-style-type: none"> ● 온도, 습도, 광 센서 설치 및 탄산가스 센서 추가 설치 ● 온도, 습도, 포차 분포 분석
			<ul style="list-style-type: none"> ● 온실 내 냉난방 공조 시스템의 온실 내 환경 조절 성능 및 효과 분석 	<ul style="list-style-type: none"> ● 온실 내부 온도비교를 통한 냉난방효과 분석 ● 온습도 분포도 비교를 통한 분포의 균일성 분석 ● 광투과율 분석
			<ul style="list-style-type: none"> ● 실험용 온실의 데이터 및 실증운전 데이터를 이용한 온실 내 에너지 시뮬레이션 모델의 검증 	<ul style="list-style-type: none"> ● 실험용 온실의 내부온도 및 난방부하량을 이용한 에너지 시뮬레이션 모델 검증 ● 실증온실의 내부온도를 이용한 에너지 시뮬레이션 모델 검증
			<ul style="list-style-type: none"> ● 온실 내 냉난방 공조 시스템 보완요소 발굴 및 온실 적용 타당성 평가 	<ul style="list-style-type: none"> ● 균일한 온도분포 확보를 위한 냉온풍 덕트의 개선 방안 제시 ● 난방제어에 대한 보완의 필요성 제시

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용	연구결과
3차 년도 (2022)	<p>통합에너지 시스템, 모니터링 및 제어 시스템 구축 완료와 실증운전 수행</p>	<p>실증운전 측정 데이터 분석을 통한 통합에너지 시스템 개선 완료, 운전 매뉴얼 작성</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 협동연구기관과 협력하여 실증운전 계속 ● 실증운전 데이터를 통한 통합에너지 시스템 개선 요소 발굴 및 개선 (hardware 포함) ● 통합에너지 시스템의 제어로직 보완 및 제어 시스템 반영 ● 계간축열조를 포함한 축열 시스템의 효과 분석 및 검증 ● 실 사용자를 위한 운전 매뉴얼 작성 	<ul style="list-style-type: none"> ● 실증운전 계속 진행 및 설비 성능분석 수행 ● 실증운전을 통한 시스템 개선 요소 발굴 및 개선 수행 ● 통합에너지 시스템 제어로직 보완 및 제어시스템 반영 완료 ● TTES 계간축열 시스템 효과 분석 및 검증 완료 ● 통합에너지 시스템 운전 매뉴얼 작성 완료
	<p>재생에너지 융복합 이용 통합에너지 시스템 설계·구축 및 비즈니스 모델 개발</p>	<p>각 에너지 설비의 개선을 통한 통합에너지 시스템 최적 성능 확립과 IoT 기반 모니터링 및 제어 시스템 완성</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 실증운전 데이터를 분석을 통한 통합에너지 시스템 보완 사항 발굴 및 개선 (hardware 포함) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 동파방지 시스템 구축 ● 온실의 배관 누수시 시스템 보호를 위한 대형 열교환기 시공 및 선정 ● 지하수오인한 수질오염방지를 위한 울트라 샌드 필터 설치

			<ul style="list-style-type: none"> ●PVT 모듈 음영조건에서 집열기 손상 방지를 위한 spar 크기 조절 및 개선 ● 메인 배관 유량 교정 및 확인을 위한 포터블 유량계 설치 ●비상운전용 전기보일러 용량 증설 	
			<ul style="list-style-type: none"> ● IoT 기반 통합에너지 시스템 고장진단 기술개발 및 실사용자가 이용할 user interface 모니터링 및 제어 시스템 완성(웹서비스) ● 구축 설비의 사후관리 및 유지보수 지원 방안 제시 ● 시뮬레이션을 이용한 설치환경(지역별/부하패턴별)에 따른 최적 운전방안 제시 ● 보급 확대를 위한 비즈니스 모델 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ● IOT 기반 통합 모니터링 시스템 완성 ● IoT 기반 통합에너지 시스템 고장진단 기술개발 ● 정기적 유지보수를 위한 방문 ● 유지보수 비용 적립 건 ● 여수/여주 2곳 파프리카/토마토 2가지 총 4가지 시뮬레이션 후 최적 운전방안 제시 ● 현재 상태로 비즈니스 ● BTES를 온실 바닥 안으로 제시 ● ATEs 적용 분석
<p>재생에너지 융복합 이용 온실 환경 및 에너지 분석을 통한 현장 실증</p>		<p>신재생에너지 융복합 이용 온실용 공조 시스템 표준모델 개발</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 온실 내 냉난방 성능평가 및 온실용 최적 공조 시스템 제안 ● 온실 규모별(소규모, 중규모, 대규모) 신재생에너지 융복합 이용을 통한 온실용 공조 시스템 표준모델 개발/제시 	<ul style="list-style-type: none"> ● 실험온실 내외부의 온도, 습도, 일사, 탄산가스농도 등을 측정 및 분포 분석 ● 온도 분포 균일화 대책 및 탄산가스 공급의 필요성 확인 ● 월별 수확량 조사 ● 단위면적당 수확량 비교 및 적절성 확인 ● 난방시스템의 온도제어 효과의 적절성 확인 ● 냉방 및 난방에너지 공급량 산정 및 적정성 검토 ● 난방용 튜브와 냉방용 팬코일유닛의 냉난방 효과의 적절성 확인 ● 난방 튜브의 공급열량 산정 및 공조 시스템 설계 방법 정립 ● 온실용 난방 공조시스템 지역별 및 온실규모별 표준모델 도출

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

<연구개발성과 목표 대비 실적>

(단위 : 건수, 백만원, 명)

성과 목표	사업화지표											연구기반지표								
	지식 재산권				기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용· 홍보		기타 (타연구 활용 등)
	특허 출원	특허 등록	품종 등록	S M A R T	건 수	기술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출	투 자 유 치		논문		학 술 발 표			정 책 활 용	홍 보 전 시	
													S C I	비 S C I						
단위	건	건	건	건	백 만 원	건	백 만 원	백 만 원	명	백 만 원	건	건	건	명	건	건				
가중치		15					10	20		30				10	5	5	5			
최종 목표	3	1					1	2,000		6			3	2	2	4	3	1		
1차 년도	목표									1						1				
	실적	2(6)								4					2	1				
2차 년도	목표	1								2			1	1	2	2	1	1		
	실적	1								3			1	1	3.0	5	1	1		
3차 년도	목표	2	1				1	2,000		3			2	1	2	2	1			
	실적	2	1				1	1,009		0			2.5	2	3.7	3	1			
달성률 (%)	100	100					100	50		100			100	100	100	100	100			

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

[1차년도]-요약본

- PVT 및 일반 태양열 집열기와 연계된 계간축열 시스템 시뮬레이션과 지열원 히트펌프 시스템을 포함한 통합에너지 시스템 최적설계(각 에너지 설비의 최종 용량 확정 포함)
- 본 연구에서는 아래 그림과 같이, 푸르메 여주팍을 실증단지로 선정하고, 푸르메 여주팍의 Farm-1(2,160m²)과 Farm-2(1,782m²) 총 3,942m²(0.39ha)에 대한 냉열 및 온열을 공급하는 것으로 실증이 진행되었다.

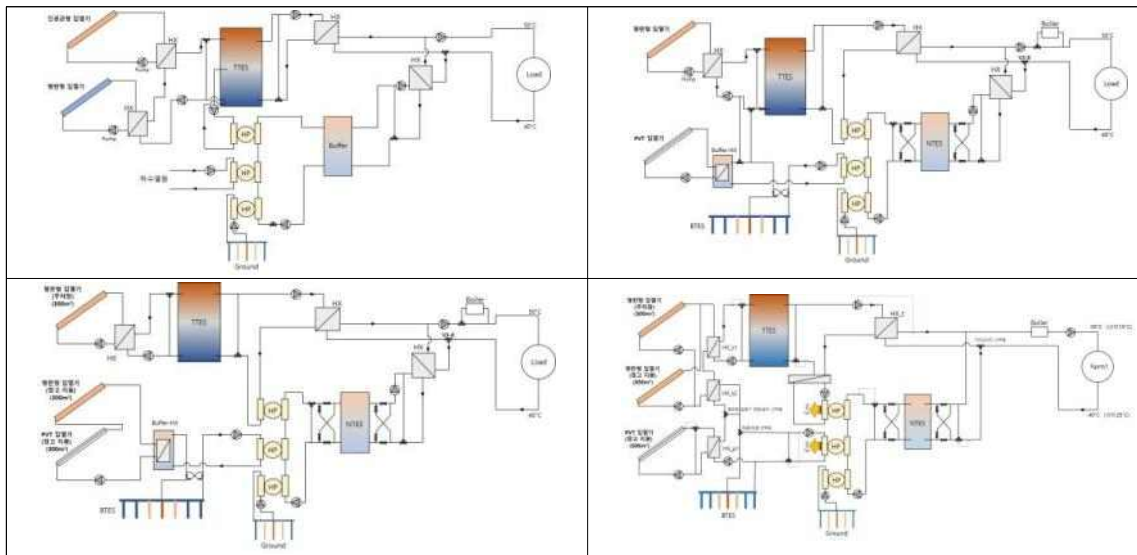
- 실증대상 원예시설은 겨울철 원예작물의 난방에 중점을 두고 있으며 냉방은 환기나 차양 설치 등의 방법으로 해결하는 경우가 많은 것으로 파악되었으므로, PVT 및 일반 태양열 집열기와 계간축열시스템 및 히트펌프의 용량은 겨울철 난방공급 설비로서의 역할 수행을 주로 산정되었다.
- 공동연구기관인 경북대에서 제공된 시간대별 난방요구량을 바탕으로 난방 최대부하 138.9 kcal/hr/m²으로 설정하여 설계가 진행되었다.
- PVT 및 일반 태양열 집열기의 설치 위치는 서측 주차장 지붕(234m²)을 활용하여 PVT를 설치하고, 가공동 지붕(slope: 5.76°)에는 일반 태양열 집열기(462m²)를 설치하는 것으로 설계되었다. 현재 대지의 방위각(azimuth)는 45°로 형성되어 있다.



[그림 1-1. 푸르메 여주팜 실증단지 배치도]

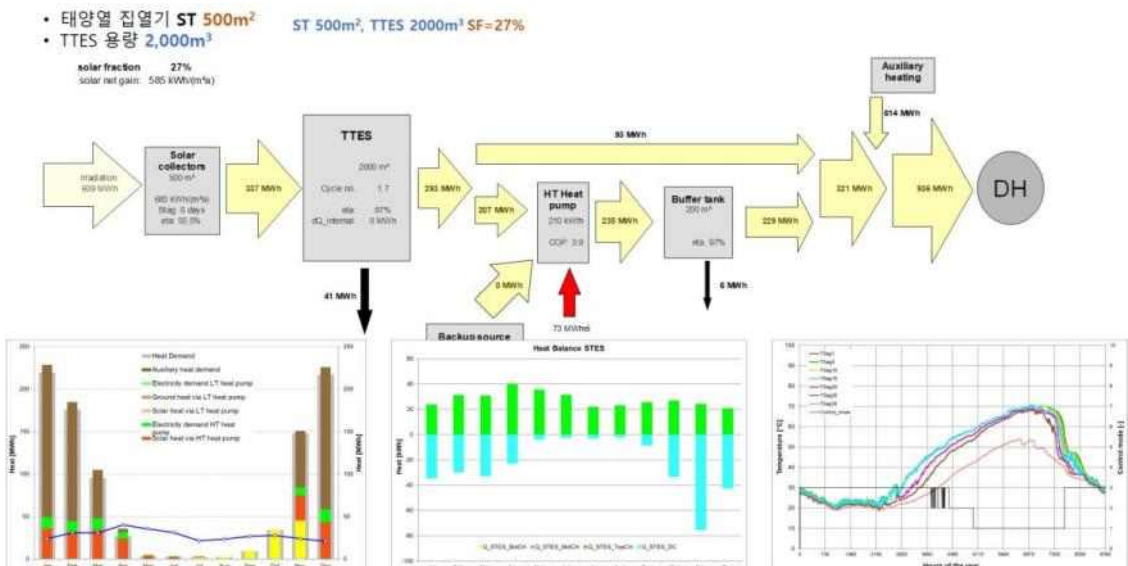
- 설계 초기단계에서 아래 그림과 같이, 다양한 시스템의 구성방식에 대한 논의가 진행되었다. 이때, 탱크방식 계간축열조의 구축 비용절감, 운영상의 안전등의 이유로 축열조의 최대 축열온도를 70°C로 설정하였다. 다양한 시스템 구성안을 논의한 결과, 일반 태양열 집열기를 탱크방식 계간축열조(TTES)에 주로 축열을 하고, 탱크방식 계간축열조의 온도가 70°C 이상에서는 지중 계간축열조(BTES)에 저장하는 방식으로 활용하며, 상대적으로 낮은 온도를 생산하는 PVT는 연중 BTES에 저장할 수 있도록 시스템 도를 구성하였다.

1) 에너지 열량환산기준, 에너지기본법 제5조 1항 관련
2) 면세유 기준



[그림 1-2. 논의된 통합에너지시스템의 설계 안]

- BTES의 열은 중앙과 외부로 구분하여 열이 저장되며, 내부는 고온, 외부는 상대적으로 저온이 저장되도록 배관을 구성하였다.
- TTES에 저장된 온열은 겨울 초기에 난방에 직접 공급되다가, 상단부가 난방공급온도 이하로 내려갈 경우, NTES에서 난방열을 공급하도록 설계하였으며, 이때 TTES의 열은 히트펌프1(HP1)의 열원으로 활용되도록 구성하였다.
- PVT를 통해 생산된 열은 BTES에 저장되고, BTES의 온열은 히트펌프2(HP2)의 열원으로 활용되도록 구성하였다.
- 히트펌프3(HP3)은 지중열교환기만 연결되어, 지중열을 활용하여 온열 및 냉열 생산을 하도록 구성하였다.
- 본 연구에서는 TRNSYS17을 활용하여, 일반 태양열 집열기와 TTES의 운영, PVT와 BTES의 운영 결과를 시뮬레이션을 통해 예측하였다.

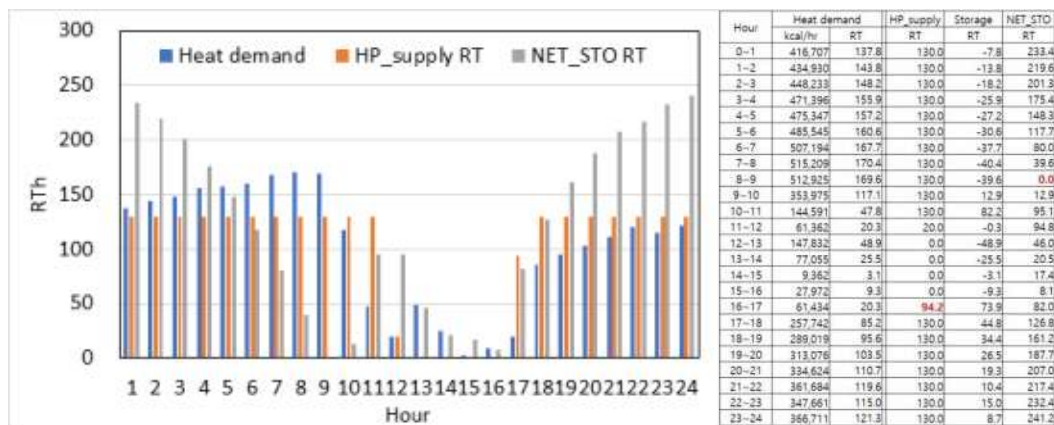


[그림 1-3. 태양열집열기 및 TTES 시뮬레이션 결과 예시]

- 계간축열 방식 별(TTES, BTES) 용량 배분 및 각 에너지 설비의 최종 용량 설계
- 시뮬레이션 진행은, 먼저 일반 태양열 집열기의 설치면적과 시간대별 난방부하를 기반으로

TTES의 용량을 산정하였다. 이때, 다양한 태양열 집열기의 면적과 TTES의 용량을 고려하여, TTES의 내부온도가 적정 수준을 유지하면서도 태양열 기여율(solar fraction)이 높은 시스템 용량으로 설계하였다. 이를 통해 일반 태양열 집열기 462m²에서 1,200m³의 TTES 용량이 적정한 것으로 판단하였다.

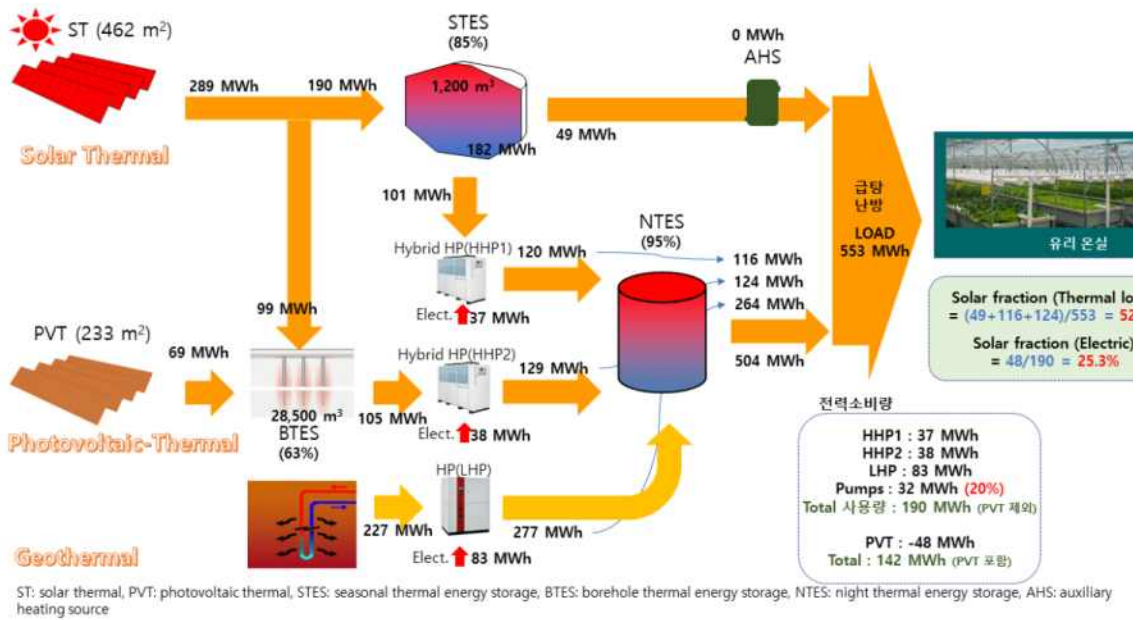
- PVT와 BTES는 PVT의 집열성능 곡선을 제조사로부터 제공받아, TRNSYS에 반영하고, TTES의 용량을 기준으로 물(4190 J/K.kg)과 토양(1000~1670 J/K.kg)의 비열이 4배 차이나는 것과 TTES의 저장온도 차(70°C-20°C)와 BTES의 저장온도 차(PVT 예상 생산온도(40°C)-지중온도(15°C))가 2배임을 고려하여, TTES로 분석 후, TTES 대비 8배 더 많은 BTES를 설계할 수 있도록 시뮬레이션을 진행하였다.
- ※ 본 TRNSYS 시뮬레이션 모듈은 코로나-19가 종료되는 시점에 시뮬레이션 모듈을 제작한 독일의 solites사와 협력하여 TTES와 BTES를 직접 모델링할 수 있도록 수정할 계획임
- 이를 통해 PVT 234m²에서는 28,500m³의 BTES 용량이 적정한 것으로 시뮬레이션 되었다.
- 히트펌프 용량의 경우, TRNSYS 시뮬레이션을 통해 설계된 태양열집열기와 TTES로 히트펌프의 열원으로 공급할 수 있는 양을 통해 HP1의 용량을 결정하고, PVT와 BTES로 HP2의 열원으로 공급할 수 있는 양을 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 그 결과, HP1은 40 RT, HP2는 40 RT로 설계되었다.
- 지열원 히트펌프는 1년 중 최대난방부하일의 24시간 시간별 부하 데이터를 기반으로, HP1과 HP2의 용량으로 부족한 용량을 지열원 히트펌프를 통해 공급하도록 설계되었다. 경북대학교에서 제공한 최대난방부하일의 1일 총 난방부하는 2,454 RTh이며, 이는 단위면적당 최대부하는 138.9 kcal/h·m²으로 산정된 결과이다.
- 아래 그림과 같이, NTES 축열조의 용량이 120m³이고, 히트펌프의 총 용량이 130 RT인 경우, 최대난방부하일의 부하를 만족시킬 수 있을 것으로 분석되었다.
- 이에, 지열원 히트펌프는 40 RT HP1과 40 RT HP2와 더불어, 50 RT로 설계되었다.



[그림 1-4. 최대난방부하일의 히트펌프 운영 및 소요용량 산정]

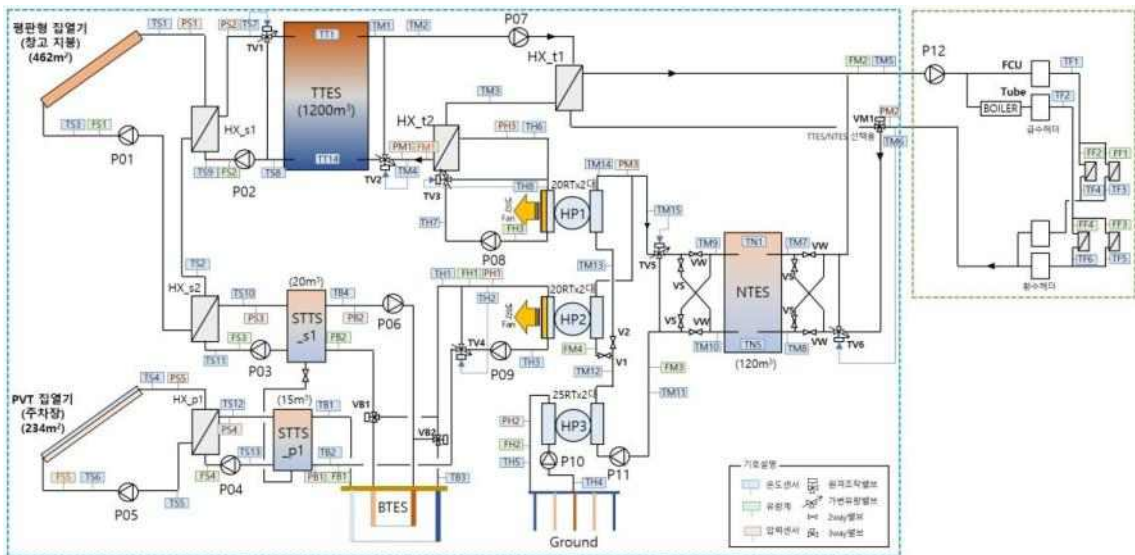
- 아래 그림은, 설계된 각 시스템에 대한 연간 생산량, 저장량 및 공급량을 예측한 결과이다. 그 결과, 연간 태양열 기여율(SF)이 간접 및 직접비율을 모두 고려하였을 경우, 52.3%를 보이는 것으로 예측되었으며, 연중 난방부하를 모두 제안된 시스템이 담당할 수 있을 것으로 예측되었다.
- 하지만, 온실에서는 예상하지 못한 한파나 기후변화로 인한 이상기후에도 작물이 자랄 수

있도록 설계되어야 하므로, 비정상 부하에 대한 대응 방안 또한 설계에 반영하였다.



[그림 1-5. 통합에너지시스템 연간 에너지생산, 저장, 공급량 예측결과]

- 제안된 시스템의 각종 설비와 열교환기, 펌프, 밸브 및 각종 센서를 포함한 최종 상세 개요도는 아래 그림과 같다.

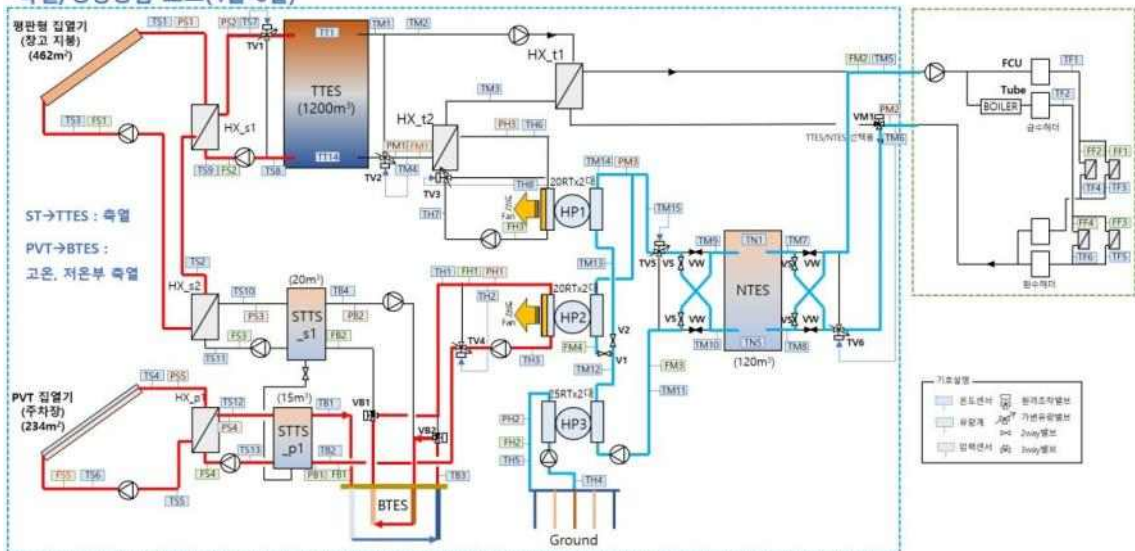


[그림 1-6. 통합에너지시스템 최종 상세 개요도]

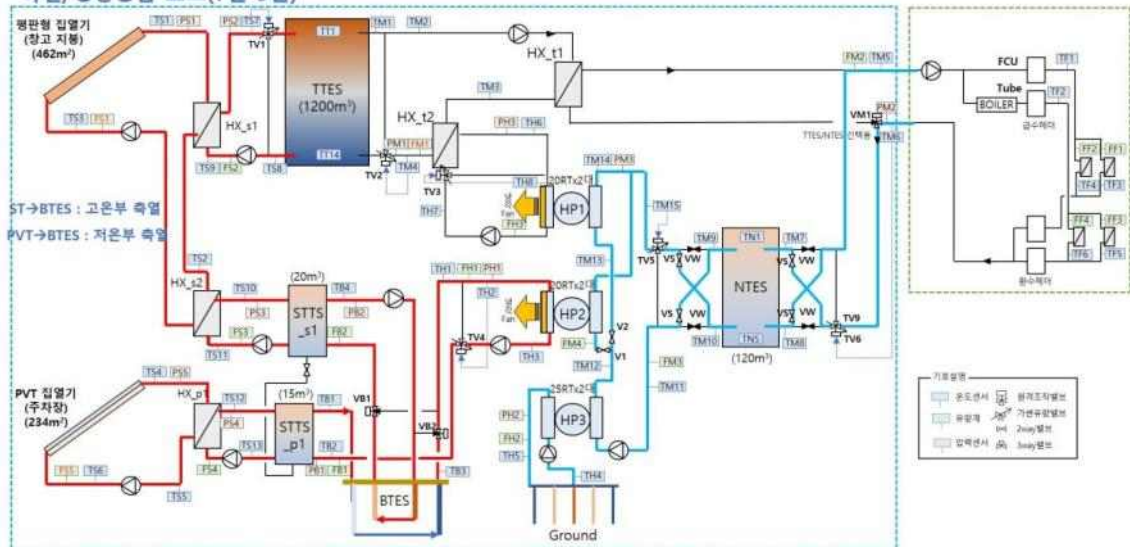
- 온열 생산 및 공급 운전 시나리오 작성
 - 제안된 통합에너지시스템의 온열 생산 및 공급 방안은 개괄적으로 월별로 제어 방안을 나타낼 수 있다.
 - 4월-6월은 축열/냉방공급 모드로, 일반 태양열 집열기와 TTES, PVT와 BTES는 모두 축열운전을 각각 진행한다. 이때, 냉방공급을 위해 HP1과 HP2는 공기열원 히트펌프운전을 하고, HP3는 지열원을 활용한 냉방운전을 진행한다.

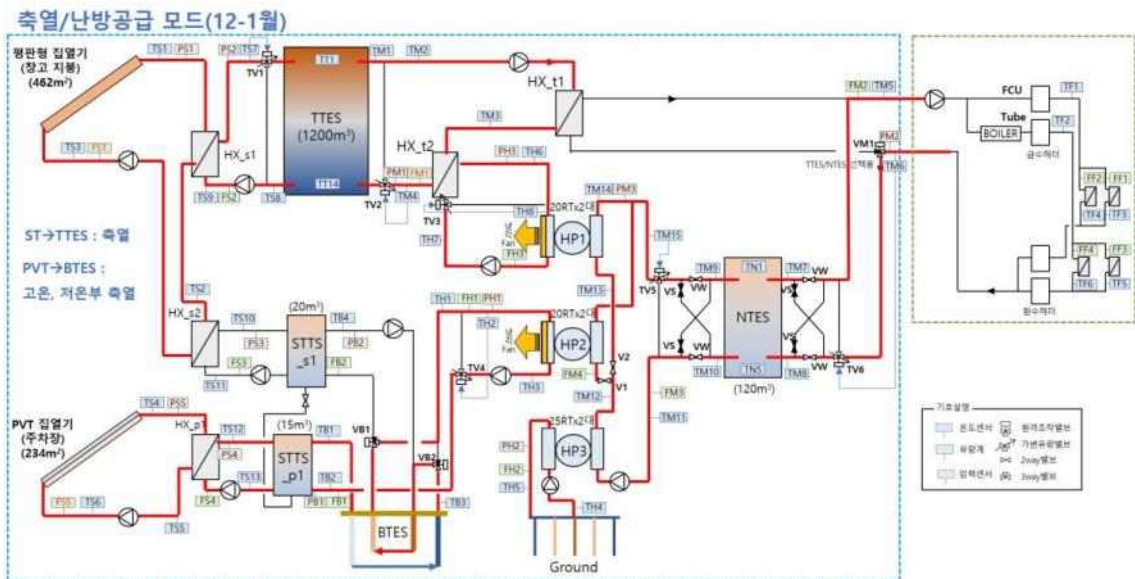
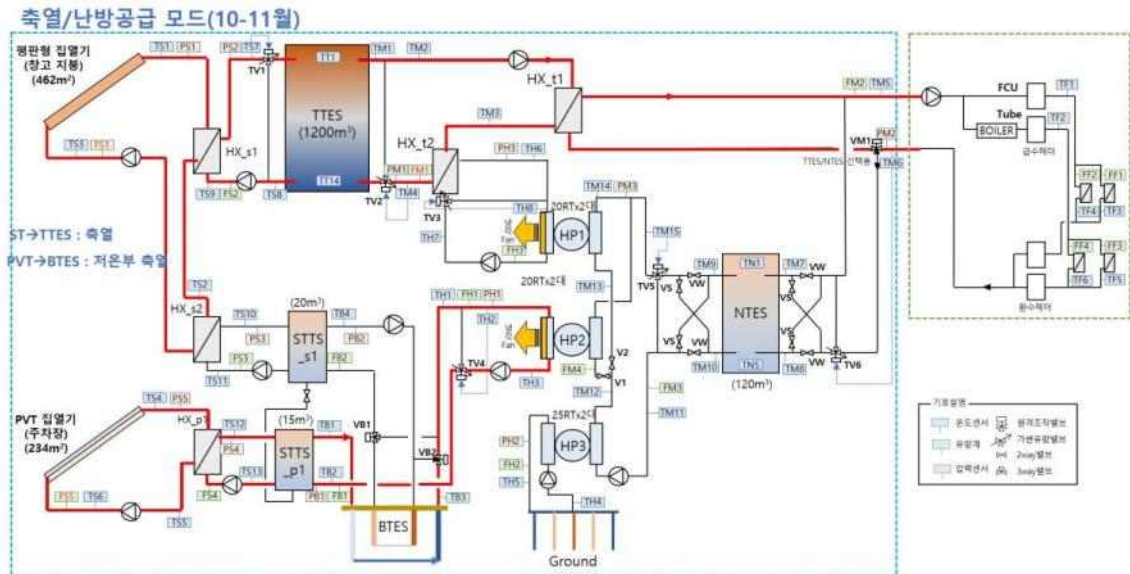
- 7월-9월에는 TTES의 내부온도가 70°C에 도달한 상태이며, 이때 일반 태양열 집열기에서 생산된 열은 BTES로 저장되며, BTES의 중심부(고온)에 저장된다. PVT에서 생산된 열은 BTES의 외곽부(저온)에 저장되어, 고온부의 열손실을 저감시킬 수 있다.
- 10월-11월에는 온실에 난방공급이 시작되며, TTES에서 우선 난방공급이 진행되고 태양열 집열기는 TTES에 저장된다. 이 시기에는 난방과 냉방을 동시에 요구할 수 있으므로, 필요 시 NTES는 냉방공급을 위한 냉수를 저장해둘 수 있다. PVT는 계속 BTES의 외곽부(저온)에 열을 저장한다
- 12월-3월에는 TTES의 열이 소진되므로 NTES를 통해 난방공급을 실시한다. 이때, NTES에는 TTES를 열원으로 쓰는 HP1과 BTES를 열원으로 쓰는 HP2, 그리고 지열원 HP3 중 2대가 직렬로 운전될 수 있다.

축열/냉방공급 모드(4월-6월)



축열/냉방공급 모드(7월-9월)

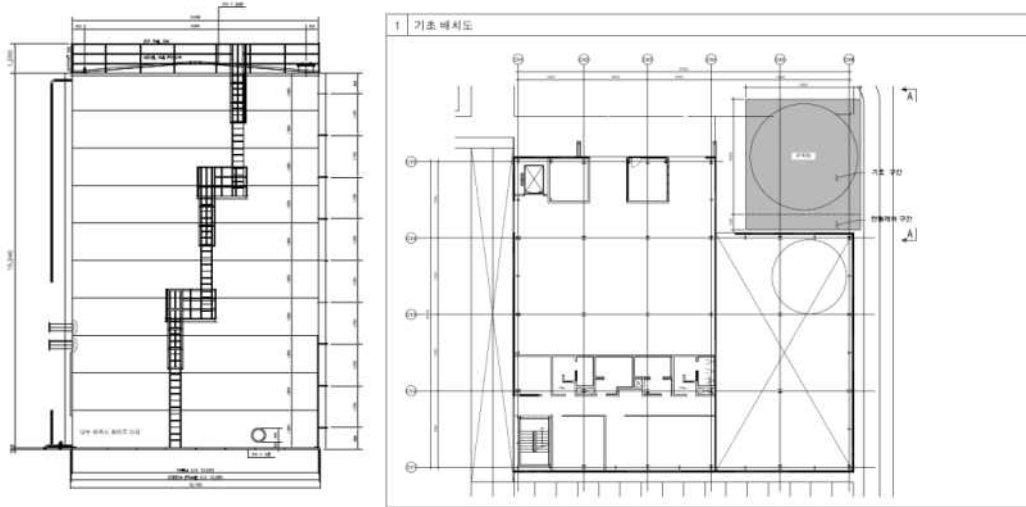




[그림 1-7. 월별 통합에너지시스템 운영 시나리오]

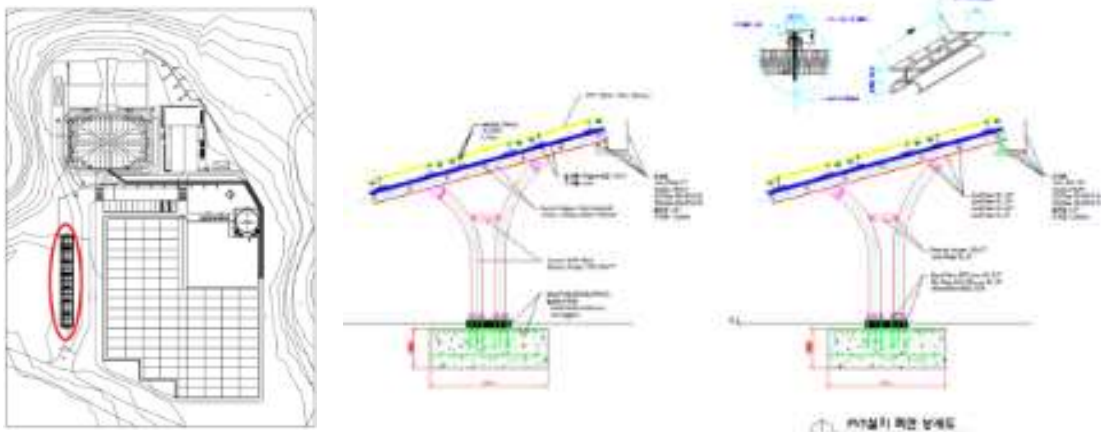
- 냉방 대응 지열원 히트펌프 시스템 용량 산정 및 냉난방 동시운전 시 운전방안 개발, 그리고 히트펌프의 지열원 및 냉각탑 배분 비율 산정과 냉열 운전 시나리오 작성
 - 냉난방이 동시에 이루어지는 간절기의 운전시나리오는 다음과 같음. NTES에서는 냉방을 TTES에서는 난방을 공급함을 원칙으로함. 간절기운전은 난방이 종료되는 5월과 냉방이 종료되는 무렵인 9월에 진행될 예정이다.
 - TTES는 난방 공급을 위한 축열탱크이며, NTES는 냉난방 겸용 축열탱크이다.
 - TTES는 간절기 기간인 5월경에는 3월 달 부터 저장된 태양열에너지를 이용하여 난방열을 공급할 수 있으며, NTES에 저장된 냉열을 이용하여 냉방열을 동시에 공급할 수 있다.
 - 55도의 온열이 저장되어있는 120 톤 규모의 NTES를 7도의 냉열로 바꿀 시에 130 RT 히트펌프의 경우 13.3 시간, 90 RT 히트펌프의 경우 19.3 시간이 걸리므로 적어도 2일전부터 냉열을 준비해야한다.

- 실증단지 계간축열조(TTES) 구축 지원 및 비정상 부하대응 축열방안 연구



[그림 1-8. 계간축열조(TTES) 입면도 및 배치도]

- PVT 집열기 제작과 실증단지 내 PVT 및 일반 태양열 집열기 설치 공사
 - PVT 집열기 부착을 위한 PV 모듈 사양 선정 및 설치 용량 선정
 - 태양광 모듈은 국내에서 가장 많이 보급되고 있는 사이즈와 효율을 고려하여 한화 72 Cell 단결정 Q.PEAK L-G4 (375 or 380W)로 선정하였고, 총 43.8 kW급으로 설치 예정이다.
 - PVT의 설치 용량은 주차장의 사용가능한 면적을 최대한 활용하는 범위로 선정하였고, 그에 따라 총 117장을 설치하기로 결정하였다.
 - PVT 설치 위치 선정
 - : 초안으로 지붕 위를 고려하였으나, 태양열 패널 공간이 부족한 관계로 다른 위치를 선정하기로 하였고 최종적으로 입구 측 주차장으로 설치하기로 결정하였다(아래 도면 참고).



[그림 1-9. PVT 설치위치 선정 및 설계]

- 실증단지 내 계간축열조 설치를 위한 지질특성(토양분석용 시추공 작업) 분석
 - 푸르메재단 스마트팜에 대한 토양 채취 및 분석을 위한 굴착신고서 허가를 여주시청으로부터 득하였으며, BTES 후보지에 아래 그림과 같이 4곳을 위치 지정하여 토양분석 시추를 진행하였다.
 - 지질 분석 천공 현장 작업

: 지질 분석을 위해 총 4공 천공을 진행하였으며, 시추장비는 MINI B-4W(BUTTON BIT 153 φ), 공기압축기, 부대장비를 이용하였다.



[그림 1-10. 현장 지질조사 시추 현장 사진]

- 지질 특성 분석 결과

1) 위 치 : 경기도 여주시 오학동 47번지

2) 시추 결과 결론 요약

: 본 조사지역은 기반암의 풍화로 인한 풍화대가 얇은 층후로 형성되어있으며, 화성암에 의한 부정합 및 관입의 영향으로 접촉대는 형성되어 있으나 지하수 부존에 불리한 여건이다. 즉, 본역은 화성암류의 접촉대의 대수층과 호층대의 대수층으로 구분될 수 있으며 지하 대수층의 발달이 불량할 것으로 사료된다.

: 조사공 착공 결과 본 조사지역의 지층분포는 최상부에 하천의 퇴적작용 및 중력에 의한 붕적으로 형성된 충적층, 그리고 충적층 아래에 모암이 풍화되어 원 위치에 잔적된 풍화토 및 풍화암으로 이루어진 풍화대, 그리고 기반암에 해당하는 연암의 순으로 구성되어 있다.

: 냉·난방을 위한 지열추출 및 냉·난방 시스템의 열원 확보에는 문제점이 없을 것으로 사료되거나 착정중, 착정 완료후 토양 및 지하수 오염·확산을 방지하여야 한다.

• 태양열 및 지열원 히트펌프 시스템, 그리고 계간축열조가 포함된 통합에너지 시스템 상세 계통도 작성

- 푸르메 재단과 시스템 도입에 따른 설비 내역 협의

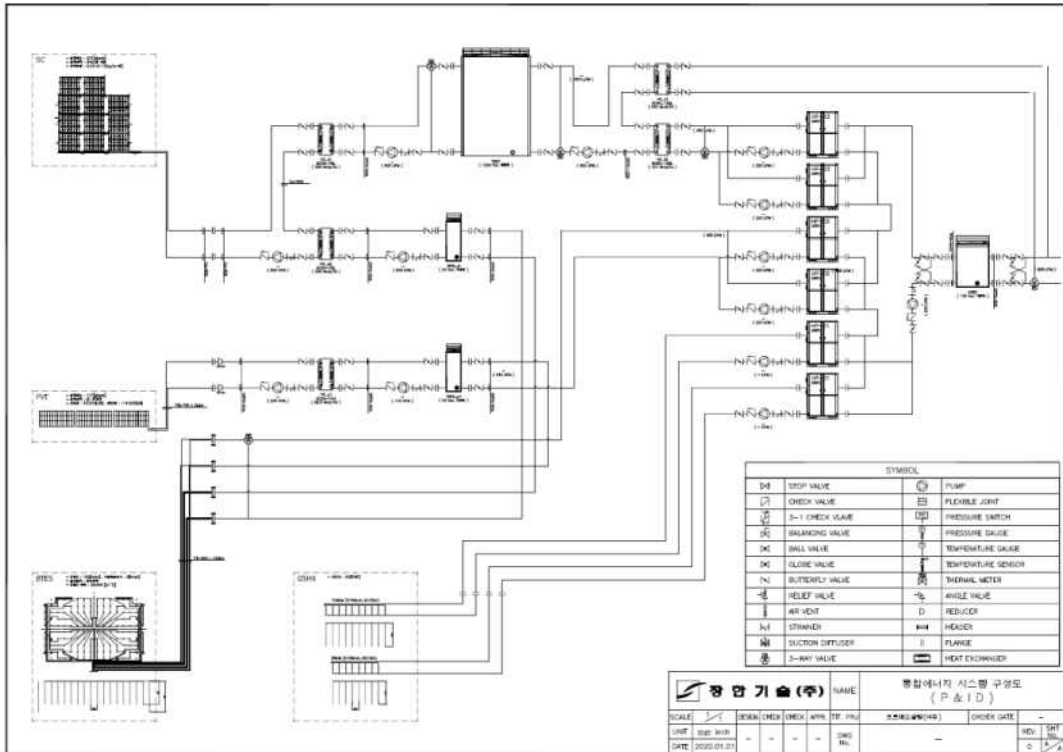
: 푸르메 재단과 협의한 에너지 설비 내역은 아래와 같음

[표 3. 실증단지 에너지 설비 용량]

에너지 설비	용 량
태양열 집열기	462 m ²
PVT 집열기	43.875 kW 급
계간축열조 (TTES)	1,200 m ³
계간축열조 (BTES)	28,500 m ³
하이브리드 히트펌프(TTES 연계)	40 RT
하이브리드 히트펌프(BTES 연계)	40 RT
지열 히트펌프(기존 지열 천공 이용)	60 RT

보조축열조 (NTES)	120 m ³
보조축열조 (태양열-BTES)	20 m ³
보조축열조 (PVT)	15 m ³
배관계통 설비/펌프/탱크 일체	-

- 계통도 초안 작성



[그림 1-11. 실증단지 계통도 작성본 초안]

• 실증단지 계간축열조(BTES) 설계 및 구축과 축열조 온도변화 모니터링 체계 마련

- 계간 축열조의 Form factor를 고려한 형태의 최적 설계 검토

- 위치 선정을 위한 푸르메 재단과 협의

: 본 과제에서 단일조건이 우수하고 단일공사를 제외할 수 있는 경제효과를 고려하여 온실 밑에 BTES를 설치하는 것으로 협의를 진행하였으나, BTES의 지열이 작물재배에 끼칠 수 있는 부정적인 영향에 대해 예측이 불확실하고, 공사 일정 상 온실 완공 착공 시점 전까지의 완성을 고려할 때 잔디광장 밑을 최종 BTES 후보지로 협의하였다.

- 푸르메소설팜/여주팜 착공식 진행

: 본 과제를 포함하는 공사 시작을 알리는 착공식을 푸르메 재단 주관으로 아래와 같이 진행하였으며 여주시장 및 각계 인사들이 참석하여 이 실증단지에 대한 관심을 표현하였다.

● 행사명 : 푸르메소설팜/여주팜 착공식

● 행사 일시 : 2020년 10월 29일(목) 10:30

- 장소 : 여주시 오학동 건립현장 (경기도 여주시 도예로 247)
- 참석인원 : 푸르메 이사장, 여주시장 외 50명



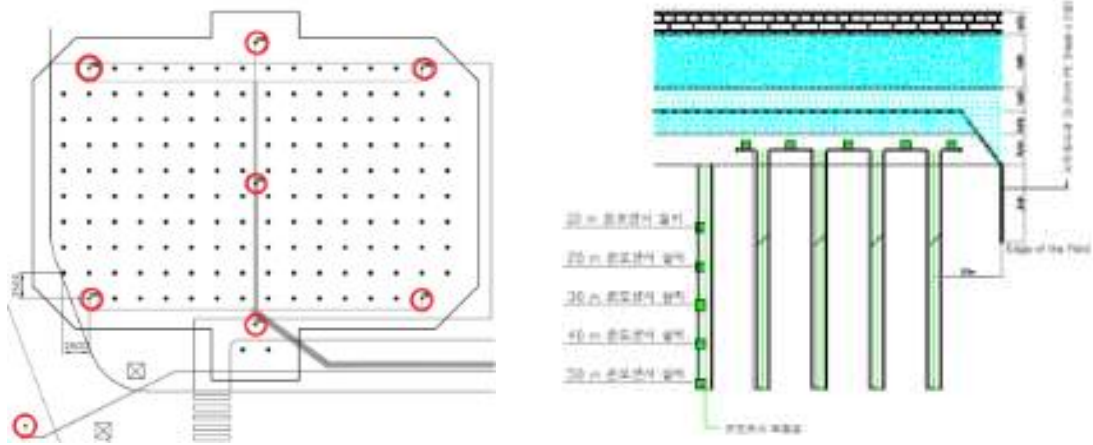
[그림 1-12. 착공식 사진]

본 착공식과 관련하여, 본 연구단에서 관련 보도자료를 작성하였으며, 21곳에서 기사로 보도되었다.

[표 4. 착공식 관련 기사]

순번	제 목	매체
1	재생에너지 융복합 시스템 적용 '에너지자립형' 스마트팜 실증 나선다	서울경제
2	에너지 70% 절감하는 스마트팜 만든다	파이낸셜뉴스
3	에너지연, '에너지자립형' 스마트팜 실증 나선다	전자신문
4	태양열·지열 이용한 '스마트팜'...재생에너지 융복합 시스템 실증 나서	디지털타임스
5	에너지 비용 70% 절감...에너지자립형 '스마트팜' 실증 착수	헤럴드경제
6	에너지연, '에너지자립형' 스마트팜 실증 나선다	머니투데이
7	에너지연, '에너지자립형' 스마트팜 실증 나선다	뉴스1
8	에너지연, 에너지자립형 스마트팜 실증 나선다	뉴스핌
9	재생에너지 융복합 시스템 적용 '에너지자립형' 스마트팜 실증	부산일보
10	[지금은 과학] 장애인 일자리에 더해 에너지자립형 농장 만든다	아이뉴스24
11	에너지비용 연 70% 절감 '에너지자립형 스마트팜' 실증	아주경제
12	연간 에너지 비용 70% 절감...재생에너지 기반 스마트팜 실증	이데일리
13	에너지연, '에너지 자립형' 스마트팜 실증 추진	이투데이
14	에너지도 스스로, 똑똑한 스마트팜 성큼	헬로디디
15	에너지연, 에너지자립형 스마트팜 실증사업 본격화	충청뉴스
16	에기연, 비용 70% 절감 '에너지자립형' 스마트팜 실증 착수	에너지경제
17	"농업 현장서 재생에너지 안정적 생산·저장·공급 시스템 구축한다"	에너지데일리
18	에기연, '에너지자립형 스마트팜' 실증 나선다	에너지신문
19	에너지연, '에너지자립형' 스마트팜 실증 추진	투데이에너지
20	에너지연, 재생E 융복합 시스템 적용 '에너지자립형' 스마트팜 실증	국토일보
21	에너지 70% 절감하는 스마트팜 만든다	모네타뉴스

- 온도변화 모니터링을 위한 센서 설계 및 센서 삽입을 위한 특수 지중센서공 설계



[그림 1-13. BTES 온도변화 모니터링 센서공 위치 및 센서공 단면도 예시]

- BTES 공사 진행 상황

: BTES 구축을 위하여 10월 10일까지 터파기 진행 후, 개발행위 변경 및 굴착 신고 허가가 나지 않아 11월 6일까지 공사 대기하였으며 11/7일부터 천공공사를 시작하였다.
: 우천 및 건수 발생으로 펌프로 물을 퍼내면서 천공작업을 진행 중이다.



[그림 1-14. 터파기 현장 사진- 우천으로 물이 고인 모습, 천공 진행 중인 사진]

: 개발행위 변경이 10월 말에 진행되었으며, 굴착 신고 허가가 11/6일에 완료되었다. 일정은 푸르메 재단과 위와 같이 협의하여 진행 중이고, 12월 말까지 BTES 천공 완료 및 복토하는 일정으로 현장 작업 중이다.

• 통합에너지 시스템 기본설계에 따른 에너지 설비 일부 및 배관망 등 구축

- 푸르메 재단과 기계 설비실에 대한 협의 및 배치 진행 완료

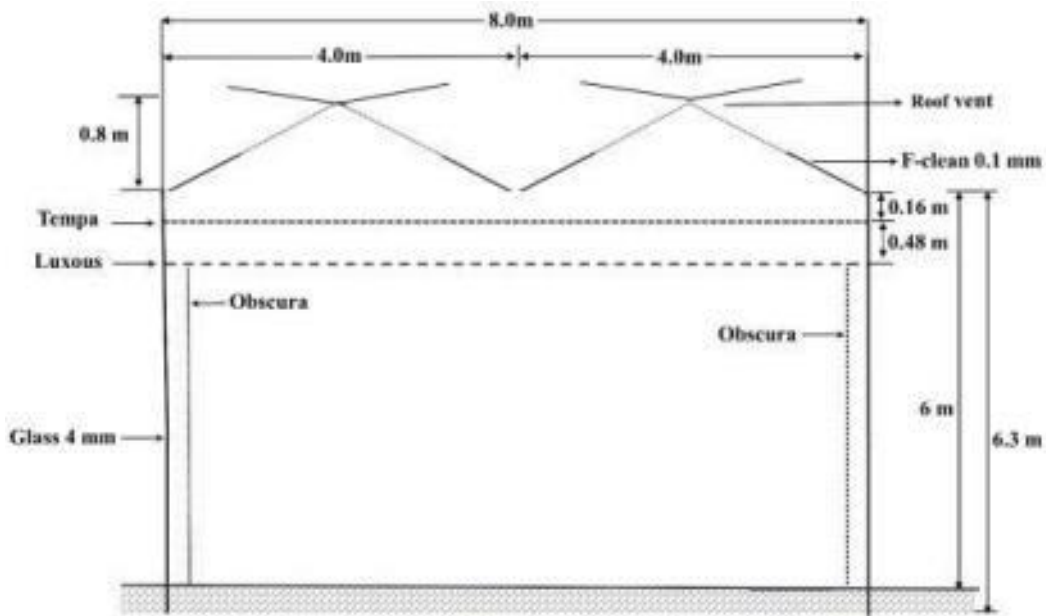
: 본 과제에 적용할 단기 축열조인 NTES와 STES의 크기 문제로 반입시 북쪽 벽을 터서 반입하는 방안으로 협의하였고 STES의 경우는 완성후 진입이 가능하여 공장에서 완성품을 반입할 예정이며, NTES의 경우 벽의 기초보다 지름이 커서 현장에서 조립하는 방향으로 정리하였다.

- 설비 배치도 초안 완료

: 푸르메 재단과 협의하여 설비 배치 초안을 완성하였으며, 향후 BTES 완성 후 접속되는 트렌치 배관 진입은 12월에 다시 정리할 예정이다. 배관은 온실로 공급되는 헤더까지 연구단에서 제공하는 것으로 협의하였고 온실 내부 배관 및 구성은 푸르메재단에서 구성하는 것으로 협의하였다.

• 실증대상 온실 제원 분석 및 에너지 시뮬레이션 모델 개발용 자료 수집

- 실증대상 온실은 경기도 여주 위치하며, 4연동의 벤로형 온실이 2개 구역으로 나누어진다. 그림 37은 실증용 온실의 입면도와 평면도이다. 온실의 벽체 피복재는 4mm 두께의 유리판이고 지붕 피복재는 불소필름인 F-clean이다. 지붕 아래에는 2층의 차광 및 보온커튼이 설치되어 있고 벽체 안쪽에는 1층의 보온커튼이 설치되어 있다.
- 연동온실의 크기는 각각 36.0 m × 49.5 m × 7.1 m과 32.0 m × 72.0 m × 7.1 m이며, 한 스패의 폭 8 m, 동고 7.1m, 측고 6.3m이다. 2019년 1월~12월 동안의 온실 외부기상 데이터를 측정하였다. 에너지 시뮬레이션 모델을 개발하기 위해 측정할 환경인자는 표 6에서와 같이 온도, 일사량, 상대습도, 대기압, 풍속, 풍향 등이다.



[그림 1-15. 실증대상 온실의 제원]

[표 7. 측정 온실 환경 인자]

환경인자	단위	측정간격
온도	°C	1 분
상대습도	%	1 분
전천일사량	Wm ⁻²	10 분
풍속	m s ⁻¹	10 분
풍향	degree	10 분
대기압	hPa	10 분

- 본 연구에서는 연동온실의 건물에너지 시뮬레이션(BES) 모델을 개발하기 위하여

TRNSYS 18 소프트웨어를 사용한다. 그림 38은 실증온실에 대해 BES모델링을 수행할 과정을 도시한 것이다. 수집된 자료와 Google SketchUp™을 이용하여 그림 39와 같이 실증온실의 3-D 모델을 작성하였다.

• 실증대상 온실의 냉난방 부하량 산정

- 실증온실의 최대난방부하는 다음 식을 사용하여 계산하였다.

$$H_T = (H_W + H_V + H_S) f_w \quad (1)$$

여기서, H_T 는 최대난방부하(W), H_W 는 관류열부하(W), H_V 는 틈새환기전열부하(W), H_S 는 지중전열부하(W), f_w 는 풍속보정계수이다.

- 관류열부하는 다음 식을 사용하여 계산하였다.

$$H_W = UA_c(T_i - T_o) \quad (2)$$

여기서, U 는 열관류율($W/m^2\text{°C}$), A_c 는 온실의 피복면적(m^2), T_i 는 실내설정온도(°C), T_o 는 설계외기온(°C)이다.

- 틈새환기전열부하는 다음 식을 사용하여 계산하였다.

$$H_V = \rho_i c_p N V (T_i - T_o) \quad (3)$$

여기서, ρ_i 는 실내공기의 밀도(kg/m^3), c_p 는 실내공기의 비열($J/kg\text{°C}$), N 은 틈새환기율(회/s), V 는 온실의 체적(m^3), $T_i - T_o$ 는 실내외 기온차(°C)이다.

- 지중전열부하는 다음 식을 사용하여 계산하였다.

$$H_S = FL_s(\Delta T - \theta) \quad (4)$$

여기서, F 는 온실의 외주부 단위길이당 열손실계수($W/m\text{°C}$), L_s 는 온실의 둘레길이(m), ΔT 는 실내외 기온차(°C), θ 는 부하경감 기준온도차(°C)로 지중열류의 방향이 바뀌는 시점의 실내외 기온차(°C)이다.

풍속보정계수는 난방부하를 5% 증가시켜 1.05로 하였다.

- 그림 40은 설계 온실의 3가지 벽체의 피복조건에 대한 최대난방부하량 산정 결과이다. 지붕은 F-clean + 2층의 보온 및 차광 스크린으로 피복하였다. 벽체를 pc복층판만으로 피복한 경우, pc복층판+일층 보온스크린으로 피복한 경우, 유리 + 일층 보온스크린으로 피복한 경우에 대하여 최대난방부하량을 산정하고 비교하였다.
-

	① F-clean사용시 외기온-12.3도	② F-clean사용시 외기온-14.8도	③ 지붕-F-cle.벽체-pc복층 외기온-14.8도	④ 지붕-F-cle.벽체-pc복층 외기온-14.8도	⑤ 지붕-F-cle.벽체-유리 외기온-14.8도
난방부하계산					
Ht : 온실 최대난방부하(W)					
Hw : 관류열부하 (W)					
Hv : 틈새환기전열부하 (W)					
Hs : 지중전열부하 (W)					
fw : 풍속에 따른 보정계수	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
U : 온실 열관류율 (W/m ² .°C)	2.1	2.1	2.1	2.3	2.9
Ac : 온실의 피복면적(m ²)	6225	6225	4323	1902	4323
As : 온실의 바닥면적(m ²)	3798	3798	3798	3798	3798
Ti : 실내설정온도 (°C)	18	18	18	18	18
To : 설계외기온 (°C)	-12.3	-14.8	-14.8	-14.8	-14.8
ρi : 실내공기의 밀도 (kg/m ³)	1.2124	1.2124	1.2124	1.2124	1.2124
cp : 실내공기의 비열 (J/kg.°C)	1001	1001	1001	1001	1001
N : 틈새환기율 (회/s)	0.000056	0.000056	0.000056	0.000056	0.000056
V : 온실의 체적 (m ³)	25426	25426	25426	25426	25426
F : 외주부 단위길이당 열손실계수(W/m.°C)	5	5	5	5	5
Ls : 온실의 둘레길이 (m)	573.5	573.5	573.5	573.5	573.5
ΔT : 실내외 기온차 (?)	30.3	32.8	32.8	32.8	32.8
θ : 부하경감 기준온도차 (?)	15	15	15	15	15
Hw=U*Ac*(Ti-To)	396096.75	428778	297768.2	74862.72	297768.2
Hv = pi*cp*N*V*(Ti-To)	52358.7	56678.7	56678.7	56678.7	56678.7
Hs = F*As*(ΔT-Q)	43872.8	51041.5	51041.5	51041.5	51041.5
Ht = (Hw+Hv+Hs)*fw	516944.6	563323.1	51041.5	51041.5	51041.5
W	442968.8	482710.5	504368.7	576424.1	615727.0
kcal/h	116.6	127.1	432192.6	493936.7	527615.3
kcal/h/m ²			113.8	130.1	138.9

[그림 1-16. 최대난방부하량 산정 결과]

• 실증대상 온실의 냉방 부하량 산정

- 실증온실의 최대난방부하는 다음 식을 사용하여 계산하였다.

$$Q_T = Q_R - Q_W - Q_V - Q_P \quad (5)$$

여기서, Q_T 는 온실의 냉방부하(W), Q_R 는 온실내로 유입되는 일사량(W), Q_W 는 온실 피복재를 통한 관류열량(W), Q_V 는 환기로 배출되는 열량(W), Q_P 는 작물의 증발산에 소비되는 열량(W)이다.

- 유입일사량은 다음 식을 사용하여 계산하였다.

$$Q_R = \tau I_s A_s \quad (6)$$

여기서, τ 는 온실의 광투과율, I_s 는 수평면 전천일사량(W/m²), A_s 는 온실의 바닥면적(m²)이다. 광투과율은 유리온실의 평균투과율인 0.9를 사용하였고, 전천일사량은 원주지역의 TAC 2.5%의 냉방설계용 일사량인 840 W/m²을 사용하였다.

- 관류열량은 다음 식을 사용하여 계산하였다.

$$Q_W = UA_c (T_i - T_o) \quad (7)$$

여기서, U 는 온실 피복재의 열관류율(W/m².°C), A_c 는 피복재 면적(m²), T_i 와 T_o 는 온실 내외의 기온(°C)이다. 열관류율은 일중피복 추천값인 6.2 W/m².°C를 사용하였고, 설계외기온은 이천지역의 2.5% 설계외기온 31.1°C를 적용하였으며, 내부온도는 일반적으로 증발냉각 방식에서 목표로 하는 32°C를 적용하였다.

- 환기전열량은 다음 식을 사용하여 계산하였다.

$$Q_V = \rho_i c_p V_r (T_i - T_o) \quad (8)$$

여기서, ρ_i 는 실내공기의 밀도(kg/m³), c_p 는 실내공기의 비열(J/kg.°C), V_r 은 환기율(m³/s), T_i 와 T_o 는 온실 내외의 기온(°C)이다. 환기율은 연동온실 추천 값인 1.0회/min을 적용하였다.

- 증발산 소비열량은 다음 식으로 계산하였다.

$$Q_P = F_p E_p Q_R \quad (9)$$

여기서, F_p 는 작부면적의 비, E_p 는 작물의 증발산계수, Q_R 은 온실에 유입된 일사량(W)이다. 작부면적은 전체에 재배하는 경우로 1을 사용하였고, 증발산계수는 추천값인 0.6을 사용하였다.

- 야간 냉방부하는 다음 식으로 계산하였다.

$$Q_N = A_s [(UA_c/A_s + 3.1)(T_o - T_i) - 44.8] \quad (10)$$

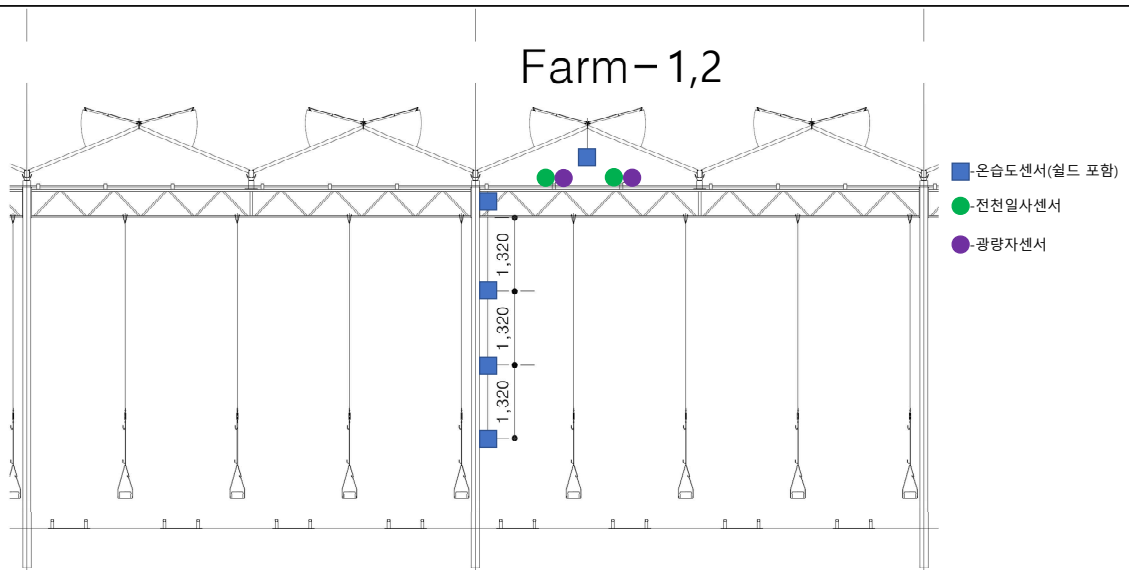
- 그림 43은 설계 온실의 차광스크린을 설치하지 않은 기본조건에 대하여 주간의 최대냉방부하량과 야간의 실내설정온도에 따른 냉방부하량을 산정한 결과이다. 히트펌프 냉방은 일사부하가 큰 주간에는 경제성이 거의 없으므로 야간냉방에 한정되고 있다.

	주간 실내기온		야간 실내기온	
	32°C	20°C	20°C	25°C
취득열량(일사)(W)	2871288			
광투과율	0.9			
전천일사량(W/m2)	840			
온실의 바닥면적(m2)	3798			
관류열량(W)	34735.5			
피복재의 열관류율(W/m2°C)	6.2			
피복재 면적(m2)	6225			
실내기온	32			
설계 외기온	31.1			
환기전열량(W)	251400			
실내공기밀도(kg/m3)	1.2			
실내공기비열(J/kg/°C)	4190			
환기율(m3/s)	50			
실내기온	32			
설계 외기온	31			
증발산소비열량(W)	453.6			
작부면적비	1			
작물의 증발산 계수	0.6			
유입 일사량	756			
최대냉방부하(W)	2584698.9	383906.4	132062.4	
kcal/h	2214823.393	328968.6	113164	
kcal/h/m2	583.2	86.6	29.8	

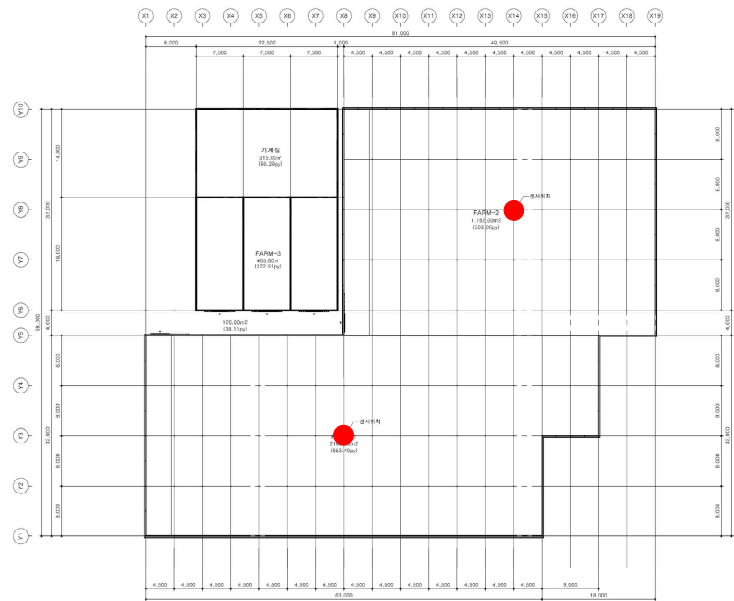
[그림 1-17. 최대냉방부하량 산정 결과]

• 온실 내외부 환경 데이터 수집을 위한 센서 종류 및 설치 위치 확정

- 그림 47은 실증온실 내부환경을 지속적으로 측정하기 위한 센서들의 위치를 나타낸 그림이다. 전력공급 및 작업의 용이성을 고려하여 온실 2곳의 중앙에 각각 단면도에서와 같이 센서들을 설치하며, 외부 기상자료 측정을 위해 온실 지붕높이에 센서들을 설치한다. 또한 작물재배에 방해되지 않도록 하기 위해 수시로 온실 곳곳에 온습도 센서들을 설치하여 환경변화를 측정하도록 한다.



(a) 단면도



(b) 평면도

[그림 1-18. 센서 설치 위치도]

[2차년도]-요약본

- 시운전 총괄과 시운전을 통한 개선사항 도출 및 반영

- 아래 그림과 같이, 20년 6월부터 21년 11월 현재까지 1단계 과제수행 기간 동안 실증설비의 설계, 구축, 시운전을 진행해 왔다. 1차년도에 BTES 구축과 더불어, 2차년도에는 실증단지의 기계실, 히트펌프, TTES, 태양열 및 PVT 설치가 진행되었다. 지열원 및 하이브리드 히트펌프를 설치하여 여름철 냉방 공급 시운전이 진행되었으며, 태양열패널 설치 후 TTES에 축열을 진행하였다. 10월 중순부터는 난방공급 시운전이 진행되었으며, 현재 실증단지 온실에 난방공급이 진행 중에 있다.



Plan of test-site greenhouse⁽⁴⁾



Under construction of test-site greenhouse⁽⁴⁾

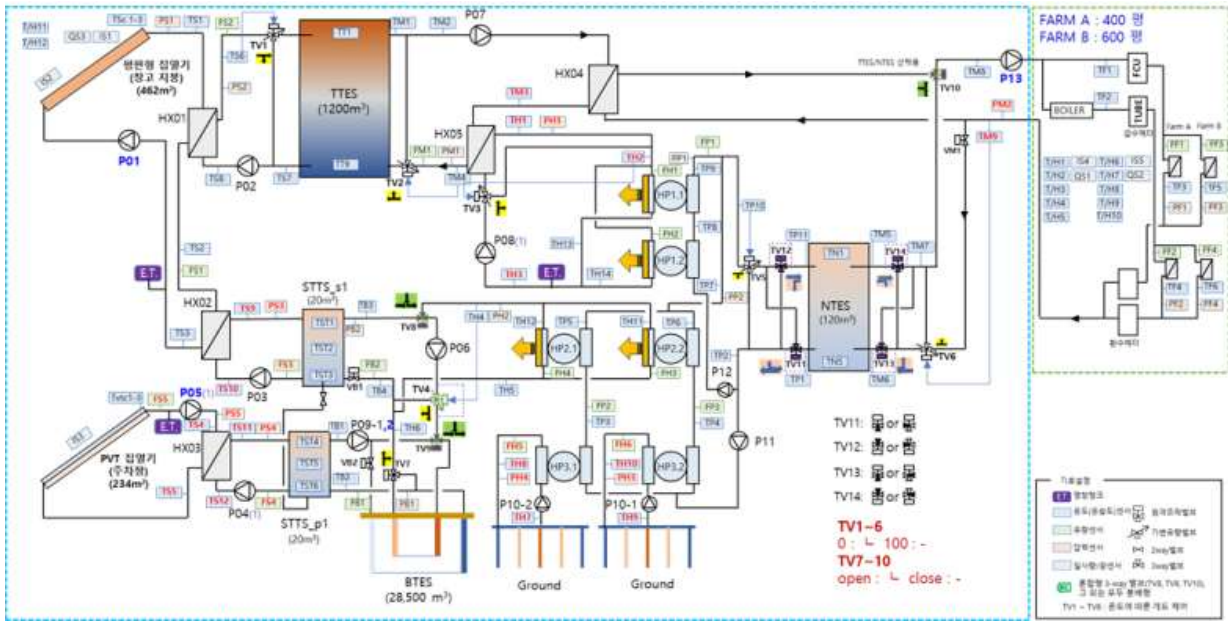


[그림 2-1. 실증 설비 구축 및 운전 경과]

- 현재까지 시운전을 통해 다양한 개선사항이 도출되었으며, 개선사항에 대한 구축 반영이 진행 중에 있다. 공동연구개발기관인 장한기술과 경북대학교가 지속적으로 협력하면서 시운전을 진행하여왔다. 장한기술에서는 축열 및 열공급을 위한 배관 내 문제점 및 개선사항을 도출하였다. 경북대학교에서는 냉방 및 난방 공급 시운전에 대한 실내 온도분포를 분석하여, 온실 내 FCU에 대한 개선사항을 도출하였다.

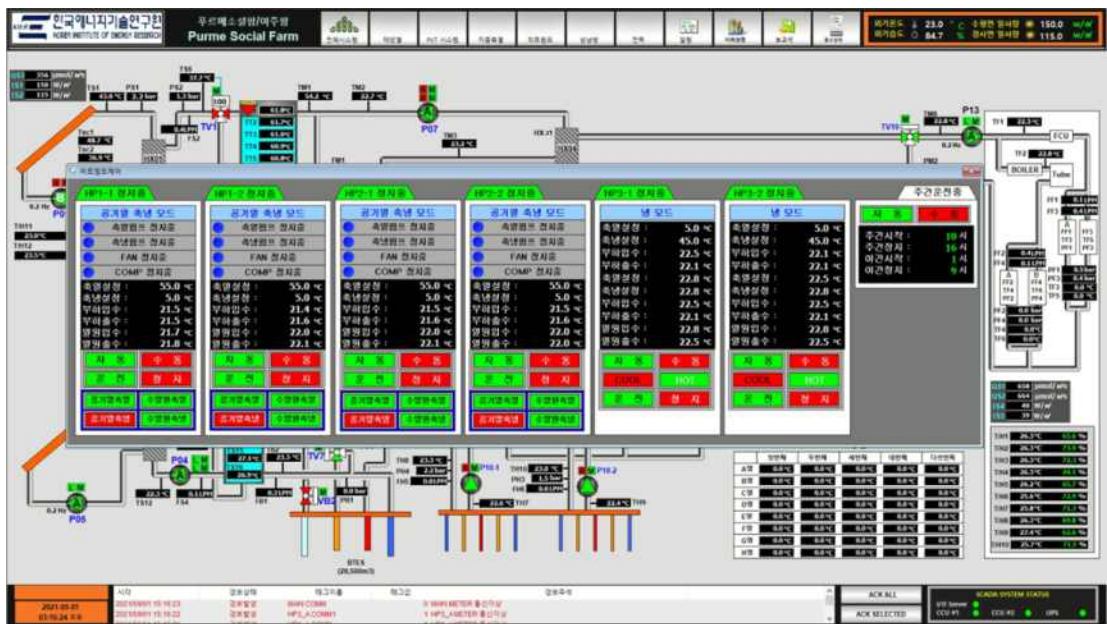
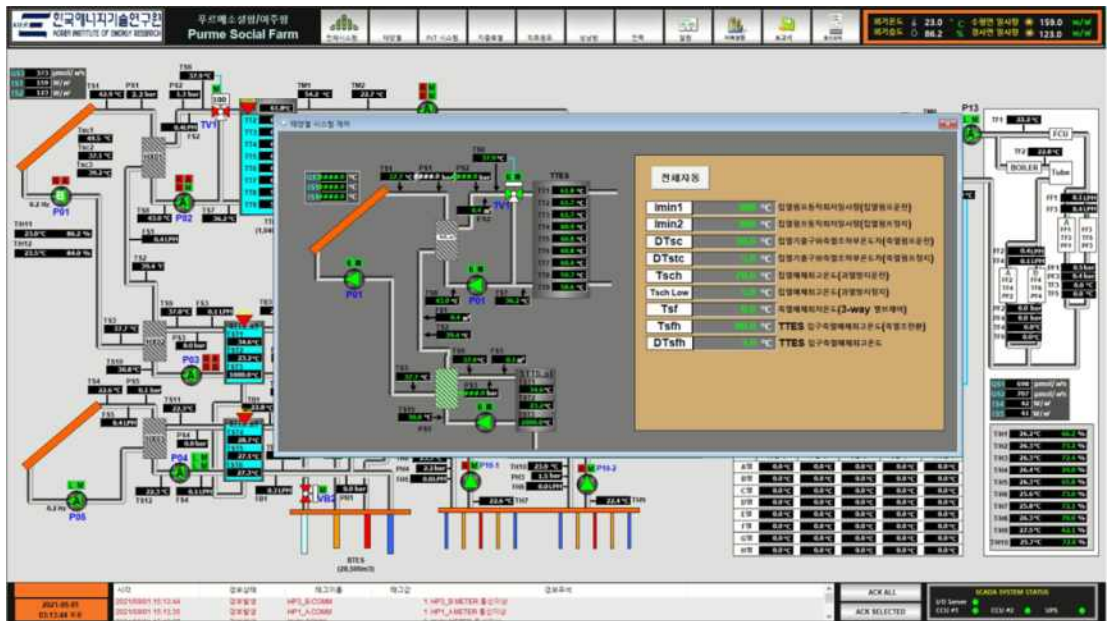
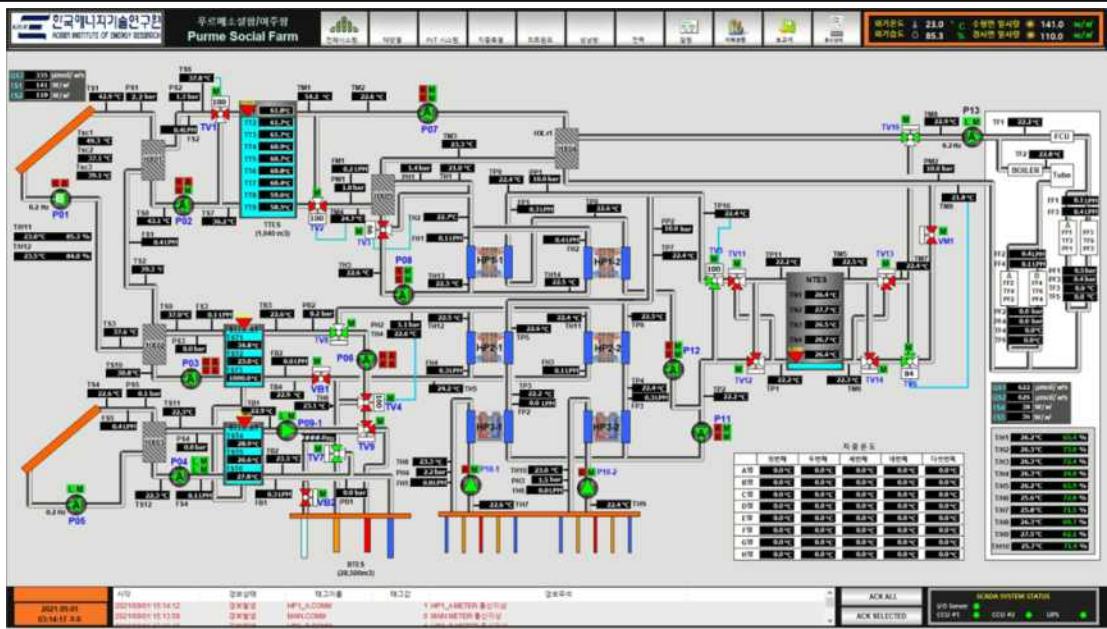
- 통합에너지 시스템을 구성하는 각 에너지 설비의 성능측정을 위한 모니터링 및 제어시스템 설계 및 구축

- 1차년도에 기 설계된 모니터링을 위한 온도센서, 유량계 등 설치 위치를 확정하였다. 고, 아래 그림과 같이 각 센서의 위치를 확정하였다.



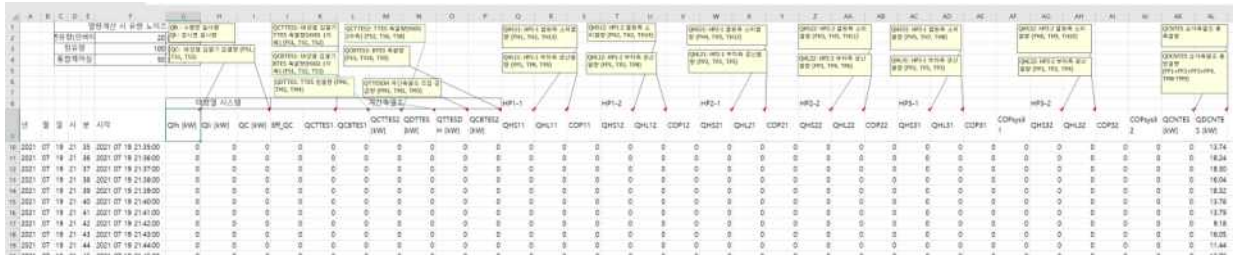
[그림 2-2. 모니터링 센서 위치 설계]

- 위 기 확정된 센서등을 기반으로 모니터링 시스템을 구축하고 제어를 위한 시스템 환경을 구축하였다. 본 모니터링 화면에서 각종 센서(온도, 유량 및 압력)에 대한 상태값을 확인하고, 이를 바탕으로 운영자는 각 설비의 운영 상태를 확인할 수 있다.
- 모니터링 화면은 크게 전체 운영 상태를 파악할 수 있는 메인 화면이 구성되어 있으며, 메인화면에서 상단의 탭을 통해 각 시스템별 상세 운영 상태를 파악하고, 제어를 위한 설정값을 입력할 수 있는 창으로 구성되어 있다.
- 히트펌프의 경우, 히트펌프 운영 상태를 확인할 수 있도록 히트펌프에서 측정되는 데이터를 표시하였다. 본 자동제어에서는 히트펌프의 냉방, 난방 모드 전환이 가능하며, 특히 하이브리드 히트펌프는 공기열 혹은 수열(TTES 열원, BTES 열원)을 활용한 난방모드로 전환이 가능하도록 구성되어 있다.
- 자동제어 모니터링화면에는 설비뿐만 아니라, BTES의 온도분포와 온실 내부의 온도 및 광량 분포도 확인할 수 있도록 구성되어 있다.
- 자동제어 설비는 현재 지속적으로 수정이 이루어지고 있으며, 3차년도에는 자동제어 설비를 온실 운영자가 편리하게 운영할 수 있도록 수정·보완이 진행 될 예정이다.



[그림 2-3. 제어시스템 구축 화면]

- 각 모니터링 센서를 통해 얻은 데이터는 30초 단위로 측정되고 있으며, 아래 그림과 같이 엑셀기반으로 데이터를 분석할 수 있는 템플릿을 도출하였다. 본 템플릿을 기반으로 태양열시스템의 생산열량, TTES 및 BTES의 축열 및 방열 열량, 히트펌프의 냉열 및 온열 생산량, 히트펌프 및 펌프의 전력소비량, 그리고 히트펌프 및 펌프를 포함한 시스템 COP를 산정하였다. 본 템플릿을 통해 1일 단위, 월 단위 데이터를 생성하고 있다. 아래 그림과 같이, 각 열량 및 COP를 산정하기 위해 어떠한 데이터를 사용했는지도 표시하였다.



[그림 2-4. 데이터 분석 템플릿 및 수식]

- **각 에너지 설비의 최적 운전(고효율 또는 고성능)을 위한 제어방안 개발**

- 1차년도에 도출한 각 에너지 설비의 월별 및 계절별 제어로직을 기반으로, 아래 그림과 같이 각 에너지설비의 최적운전을 위한 제어방안을 개발하였다. 본 최적 운전 제어로직은 태양열집열기-TTES, PVT-BTES, 복합열원히트펌프-NTES 운영을 기준으로 작성되었으며, 각 설비의 운영을 최적화 하기위한 밸브, 펌프작동 등에 대한 상세 운영로직을 작성하였다.

- 시운전 기간의 운영을 통해 온실의 냉방 및 난방을 공급하기 위한 설비의 운영에서, 비용 최적화된 운영을 하기위해서는 다음 운영을 고려해야 함을 확인할 수 있었다. 1) 냉방 및 난방공급 시 최적 공급온도 산정(외기 보상제어 고려) 2) 난방 공급 시 백업용 전기히터 운영시간 최소화 혹은 경제성을 고려한 적정 전기히터 용량 산정 3) 태양열 이용율 극대화를 위한 운영전략 수립

1) 냉방 및 난방공급 시 최적 공급온도 산정에서는 온실의 냉방을 위해 필요한 가장 높은 냉수온도를 찾고, 온실의 난방을 위해 필요한 가장 낮은 온수온도를 찾는 것이 중요하다. 이를 통해, 히트펌프의 운영효율을 극대화할 수 있으며, NTES의 축열 손실 또한 최소화할 수 있다. 이를 위해서는 다양한 냉수공급온도 및 온수공급온도를 실험을 통해 진행하고, 측정된 외기온도를 기반으로 외기에 따른 공급온도를 제어하는 방향으로 진행되고 있다.

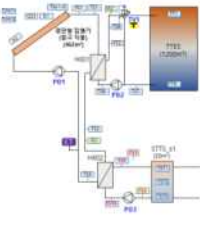
2) 난방 공급시 백업용 전기히터가 가장 낮은 효율의 운영설비이므로, 이를 최소화할 수 있는 운영로직을 개발해야 한다. 이를 위해서 피크 난방부하가 예상되는 시점을 파악하여, 태양열원 히트펌프를 활용할 수 있도록 공기식 및 수열식을 적절한 비율로 운영할 필요성이 있다. 또한, 현실적으로 전기히터가 가장 낮은 효율을 보이나, 초기투자비용이 가장 저렴하고 사용 공간이 히트펌프에 비해 매우 작아 기계실면적을 줄일 수 있는 장점이 있다. 이에, 국내와 같이 온실의 기계실 공간을 확보하기 어려운 일반농가에서 신재생에너지를 활용하는 동시에 현실성을 고려한 운영을 위해서는 전기히터의 적절한 사용이 가능한 제어로직이 요구된다.

3) 본 연구의 태양에너지를 활용하는 시스템으로 태양열 집열기와 PVT가 설치되고 있다. 이때, 생산된 열은 계간축열조에 저장되는데, 태양열 집열기는 TTES에도 축열이 가능하지만, TTES에 축열이 끝난 이후에는 BTES에 축열이 될 수 있도록 제어로직을 산정하였다.

또한, 연중 태양열 TTES에 축열된 열을 직접 활용하는 비율도 중요하지만, 히트펌프의 열원으

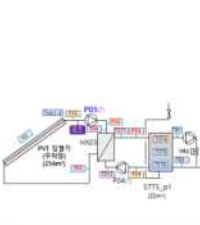
로 활용될 경우 히트펌프의 효율을 극대화할 수 있으므로, 어느 시점에서 히트펌프의 열원으로 활용하는 운전을 진행할지에 대한 제어로직을 구현하였으며, 실증을 통해 검증이 진행 중이다.

태양열 시스템 제어




- PV1 운영**
 - 계산된 일사량 Q_{PV1} 기준 $Q_{PV1} > Q_{PV1_max}$ 일사량 초과 시 PV1 출력 제한
 - $Q_{PV1} > Q_{PV1_max}$ 일사량 초과 시 PV1 출력 제한
 - 계산된 일사량 $Q_{PV1} > Q_{PV1_max}$ 일사량 초과 시 PV1 출력 제한
- PV2 운영**
 - 계산된 일사량 Q_{PV2} 기준 $Q_{PV2} > Q_{PV2_max}$ 일사량 초과 시 PV2 출력 제한
 - $Q_{PV2} > Q_{PV2_max}$ 일사량 초과 시 PV2 출력 제한
 - 계산된 일사량 $Q_{PV2} > Q_{PV2_max}$ 일사량 초과 시 PV2 출력 제한
- 1차 열 저장 탱크 운영**
 - 1차 열 저장 탱크 온도 T_{1st} 기준 $T_{1st} > T_{1st_max}$ 온도 초과 시 PV1, PV2 출력 제한
 - $T_{1st} > T_{1st_max}$ 온도 초과 시 PV1, PV2 출력 제한
 - 계산된 일사량 $Q_{PV1} > Q_{PV1_max}$ 일사량 초과 시 PV1 출력 제한
- 2차 열 저장 탱크 운영**
 - 2차 열 저장 탱크 온도 T_{2nd} 기준 $T_{2nd} > T_{2nd_max}$ 온도 초과 시 PV1, PV2 출력 제한
 - $T_{2nd} > T_{2nd_max}$ 온도 초과 시 PV1, PV2 출력 제한
 - 계산된 일사량 $Q_{PV1} > Q_{PV1_max}$ 일사량 초과 시 PV1 출력 제한

PVT 시스템 제어




- PV1 운영**
 - 계산된 일사량 Q_{PV1} 기준 $Q_{PV1} > Q_{PV1_max}$ 일사량 초과 시 PV1 출력 제한
 - $Q_{PV1} > Q_{PV1_max}$ 일사량 초과 시 PV1 출력 제한
 - 계산된 일사량 $Q_{PV1} > Q_{PV1_max}$ 일사량 초과 시 PV1 출력 제한
- PV2 운영**
 - 계산된 일사량 Q_{PV2} 기준 $Q_{PV2} > Q_{PV2_max}$ 일사량 초과 시 PV2 출력 제한
 - $Q_{PV2} > Q_{PV2_max}$ 일사량 초과 시 PV2 출력 제한
 - 계산된 일사량 $Q_{PV2} > Q_{PV2_max}$ 일사량 초과 시 PV2 출력 제한
- 1차 열 저장 탱크 운영**
 - 1차 열 저장 탱크 온도 T_{1st} 기준 $T_{1st} > T_{1st_max}$ 온도 초과 시 PV1, PV2 출력 제한
 - $T_{1st} > T_{1st_max}$ 온도 초과 시 PV1, PV2 출력 제한
 - 계산된 일사량 $Q_{PV1} > Q_{PV1_max}$ 일사량 초과 시 PV1 출력 제한
- 2차 열 저장 탱크 운영**
 - 2차 열 저장 탱크 온도 T_{2nd} 기준 $T_{2nd} > T_{2nd_max}$ 온도 초과 시 PV1, PV2 출력 제한
 - $T_{2nd} > T_{2nd_max}$ 온도 초과 시 PV1, PV2 출력 제한
 - 계산된 일사량 $Q_{PV1} > Q_{PV1_max}$ 일사량 초과 시 PV1 출력 제한

지열(BTES) 축열운전 제어



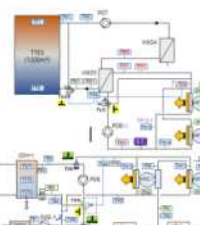
- BTES 내부 지열 축열운전 제어**
 - BTES 내부 온도 T_{BTES} 기준 $T_{BTES} > T_{BTES_max}$ 온도 초과 시 BTES 출력 제한
 - $T_{BTES} > T_{BTES_max}$ 온도 초과 시 BTES 출력 제한
 - 계산된 일사량 $Q_{PV1} > Q_{PV1_max}$ 일사량 초과 시 PV1 출력 제한
- BTES 외부 지열 축열운전 제어**
 - BTES 외부 온도 T_{BTES_out} 기준 $T_{BTES_out} > T_{BTES_out_max}$ 온도 초과 시 BTES 출력 제한
 - $T_{BTES_out} > T_{BTES_out_max}$ 온도 초과 시 BTES 출력 제한
 - 계산된 일사량 $Q_{PV1} > Q_{PV1_max}$ 일사량 초과 시 PV1 출력 제한

히트펌프 시스템 제어 개선



- 히트펌프 1, 2 냉방 운전 제어**
 - 냉방 운전 시 냉방 온도 T_{cool} 기준 $T_{cool} > T_{cool_max}$ 온도 초과 시 히트펌프 출력 제한
 - $T_{cool} > T_{cool_max}$ 온도 초과 시 히트펌프 출력 제한
 - 계산된 일사량 $Q_{PV1} > Q_{PV1_max}$ 일사량 초과 시 PV1 출력 제한
- 히트펌프 3 냉방 및 냉방 운전 제어**
 - 냉방 운전 시 냉방 온도 T_{cool} 기준 $T_{cool} > T_{cool_max}$ 온도 초과 시 히트펌프 출력 제한
 - $T_{cool} > T_{cool_max}$ 온도 초과 시 히트펌프 출력 제한
 - 계산된 일사량 $Q_{PV1} > Q_{PV1_max}$ 일사량 초과 시 PV1 출력 제한

냉방운전 시 열공급 시스템 제어



- 냉방운전 시 열공급 시스템 제어**
 - 냉방 운전 시 열공급 온도 T_{heat} 기준 $T_{heat} > T_{heat_max}$ 온도 초과 시 열공급 출력 제한
 - $T_{heat} > T_{heat_max}$ 온도 초과 시 열공급 출력 제한
 - 계산된 일사량 $Q_{PV1} > Q_{PV1_max}$ 일사량 초과 시 PV1 출력 제한

운전 개요

냉방 운전 시 열공급 시스템을 위한 제어 로직은 다음과 같다.

- 냉방 운전 시 열공급 온도 T_{heat} 기준 $T_{heat} > T_{heat_max}$ 온도 초과 시 열공급 출력 제한
- $T_{heat} > T_{heat_max}$ 온도 초과 시 열공급 출력 제한
- 계산된 일사량 $Q_{PV1} > Q_{PV1_max}$ 일사량 초과 시 PV1 출력 제한

[그림 2-5. 각 에너지설비의 최적 제어운영 방안 도출]

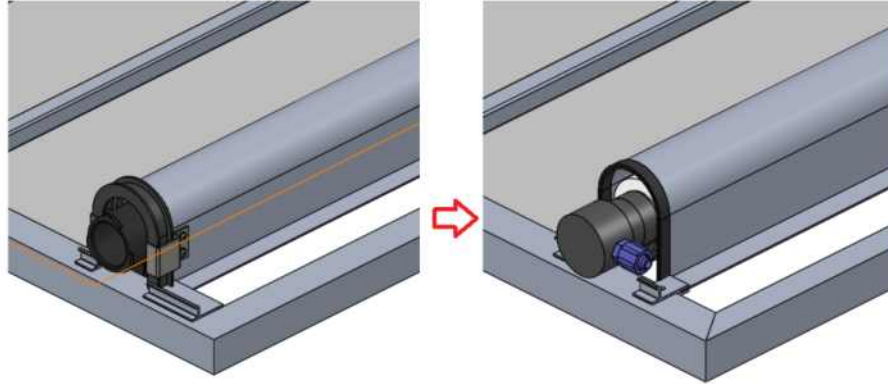
• 실증단지 내 PVT 및 일반 태양열 집열기, 계간축열조 설치 공사 완료

- PVT 집열기 개선 사항 적용 및 제작

: 태양광 모듈은 국내에서 가장 많이 보급되고 있는 사이즈와 효율을 고려하여 한화 72 Cell 단결정 Q.PEAK L-G4 선정

: 이번 실증현장에 적용될 PVT를 아래와 같이 개선 하였다.

1) 헤더부분을 일반 Fitting을 사용가능한 구조로 변경



< 기존 헤더 연결 피팅 >

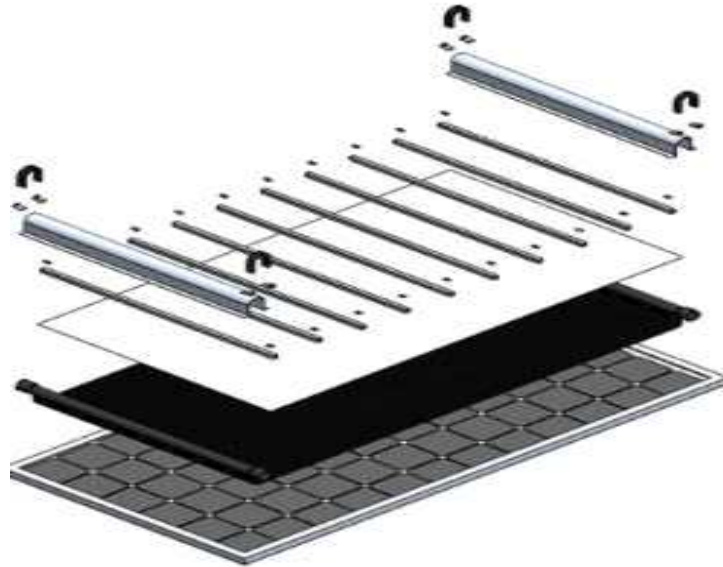
< 개선 헤더 연결 피팅 >

[그림 2-6. 헤더 피팅 부분 개선]

> 기존에는 자체 연결 피팅(제작품)을 이용하여 헤더와 헤더가 맞닿아 연결되도록 구성되었으나 유지보수 및 설치의 용이성을 위하여 상용 부품인 투터치피팅을 적용할 수 있도록 헤더를 개선함. 기존 헤더 구멍을 용착으로 막아버리고 피팅을 조립할 수 있는 탭을 내어 조립하는 구조로 변경함.

: PVT 제작 공정

1) PVT 제품 구조 및 장점



[그림 2-7. PVT 제품 조립 구조]

> PVT 제품은 PV 위에 집열기 그리고 집열기와 단열재로 구성되며, 단열재 및 집열기를 고정하는 Spar를 배치하여 집열기가 PV 후면에 밀착되게 하며, 헤더는 알루미늄 커버를 사용하여 보호하도록 되어 있음.

> 폴리머 방식의 집열기는 타 업체의 금속 재질의 집열기 와 다르게 과열이 발생하지 않으며, 태양광 발전 효율을 높이는 저온 집열에 특화되어 있음. 또한 금속재질이 아닌 폴리머 재질의 경량 제품으로 지붕 및 구조물 설치의 구조 검토 및 보강 부분에 자유로움.

2) PVT 조립 및 검사

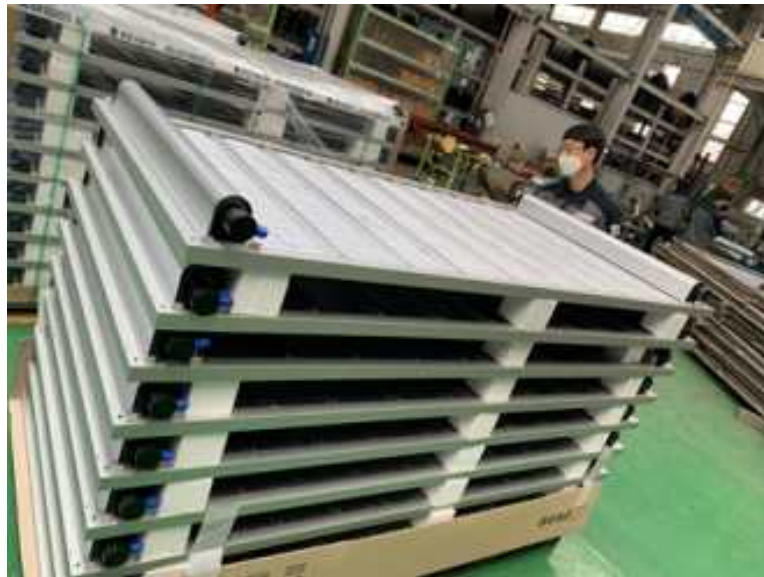
> PVT 조립 및 검사 프로세스는 아래와 같이 진행되었음.



[그림 2-8. PVT 제품 조립 현장 사진_헤더용착]

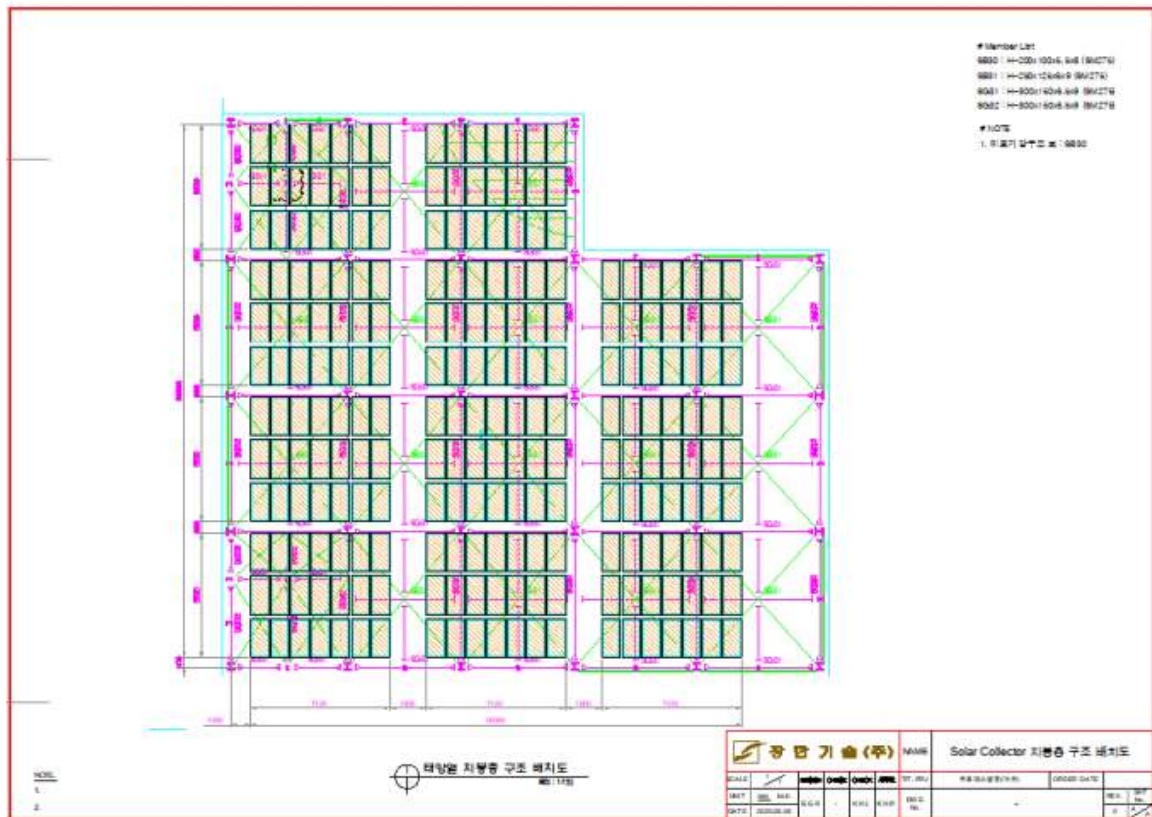
4) 조립 완성품 적재 및 포장

> 푸르메 농원의 주차장이 12월에 공사 진행하도록 일정이 되어 있어 조립 완성후 적재함.



[그림 2-9. PVT 제작 완료 사진]

- 태양열 집열기 배치도면 작성 및 설치 공사



[그림 2-10. 태양열 집열패널 배치 도면]

> 서비스동 지붕에 총 231장의 태양열 패널을 설치하도록 하였으며, 7*3열 11개 그룹으로 나누어 배치를 진행 하였음.

> 태양열 패널은 SNG 태양열 집열기를 사용하였다. 해당 태양열 집열기의 사양은 아래와 같다.

모델명 : SNG-CS1

형 식 : 평판형 집열기 ,

규 격 : 가로 1 000 mm, 세로 2 000 mm, 높이 76 mm

면 적 :전면적 : 2.0 m², 투과면적 : 1.86 m²,

작동 온도 : 150 °C ~ -30 °C
열매체 유량 : 0.1 kg/s ~ 0.02 kg/s
최대사용압력 : 980 kPa
설치 경사각 : 15° ~ 90°
사용 열매체 : 프로필렌글리콜 수용액

- TTES 설계 및 설치 공사

▶ 디퓨저 설계

: 디퓨저 설계는 아래와 같은 조건으로 설계진행함
: 선정결과는 다음과 같음

: TTES의 지중 기초를 설계하기 위하여 평판재하 실험을 진행함.



[그림 2-11. 평판재하 시험 현장 사진]

1) 시험목적 : “푸르메농원 축열조 설치공사” 현장의 기초지반에 대한 평판재하시험으로, 지내력 및 침하거동 측정을 통해 향후 구조물 축조후의 안정성 확보를 위한 공학적 기초자료를 제공하기 위함

2) 시험규정 및 방법

- ① 시험 규정 ; KS F 2444(기초지반의 평판재하시험 방법)
- ② 시험 방법 ; 급속재하방법(극한지지력 평가목적)
- ③ 반력 장치 ; 0.6 m³ 포크레인

3) 시험결과

① 평판재하시험이 실시된 지역의 기초지반 토질상태는 축열조 G.L.기준으로는 풍화토(현장 인근의 마사토를 이용하여 50~60 cm정도 A다짐)로 판단되며, 기초계획고인 G.L-1.0 m의 경우 마사토에 어두운 회색의 점성토가 다량 혼입된 습윤상태의 충적층 및 무작위 매립층이 존재하는 것으로 확인됨.

② 평판재하시험 결과 시험번호 1번(축열조 G.L.기준)의 경우 최대시험하중인 750 kN/m²에서 7.710 mm의 전침하량을 기록하며 양호한 지반상태를 보여주는 것으로 확인되었으나, 축열조 G.L-1.0m 심도인 시험번호 2번과 3번지반의 경우 재하판의 안정을 위해 초기 가압하중

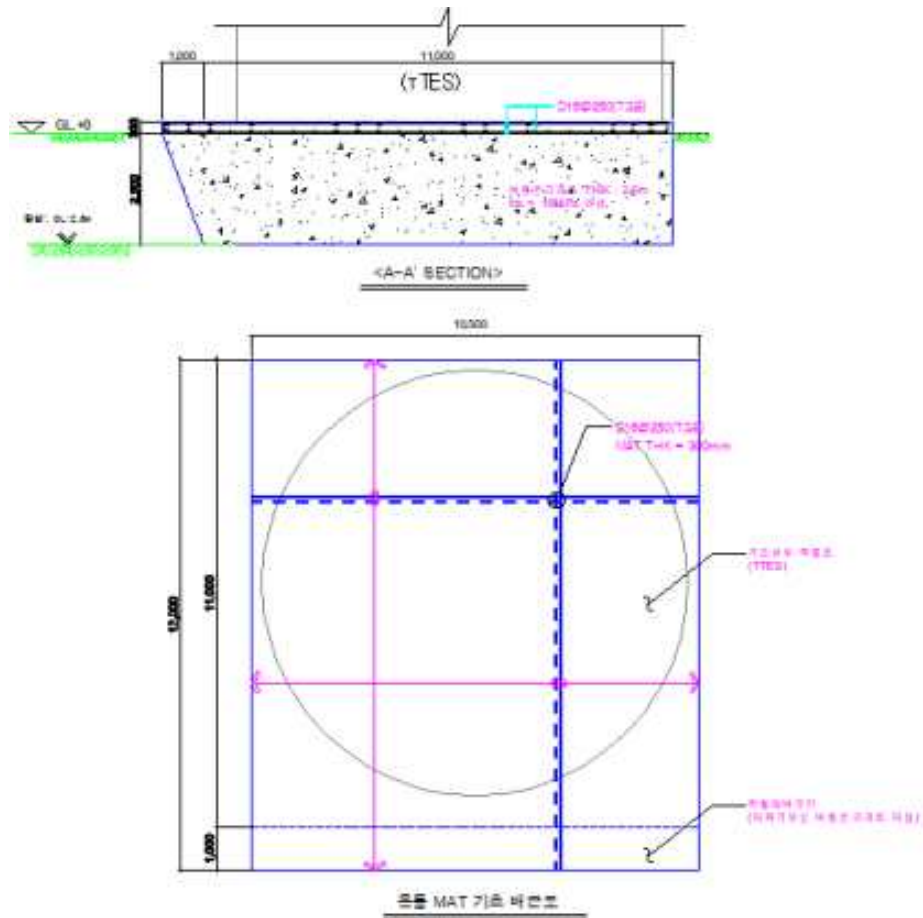
35.0 kN/m²을 재하하기 위해 가압도중 약10.0kN/m² 의 하중에서 재하판 직경의 10%를 초과하는 침하량을 보이며, 관입파괴형태를 보여주는 것으로 확인되었음.

③ 3m 깊이에서 암반층이 발견되어 암반층부터 콘크리트 기초를 만들어 진행하는 것으로 결정함.

: TTES 기초 공사 진행

1) 기초공사 설계

> 3m 깊이에서 암반층이 발견되어 암반층부터 콘크리트 기초를 설계하였으며, 버림 콘크리트로 꽉 채워서 만드는 방안과 거푸집을 이용한 빈 공간을 가진 기초구조안으로 구조 검토 결과 콘크리트 양은 많으나 실제 설치 비용 부분에서 버림 콘크리트로 채운 후 기초를 철근 콘크리트로 마감하는 방안이 더 나은 방안으로 검증되었음.



[그림 2-12. TTES 기초 설계도]

2) 기초공사 진행

> 기초 공사 진행함



[그림 2-16. 외형 셸 및 디퓨저 설치 사진]

4) 외부 비계 설치

> 외부 비계 설치시 안전관리보건 공단에서 2차레 점검을 진행하였으며, 지적사항 및 시정사항은 아래와 같다.

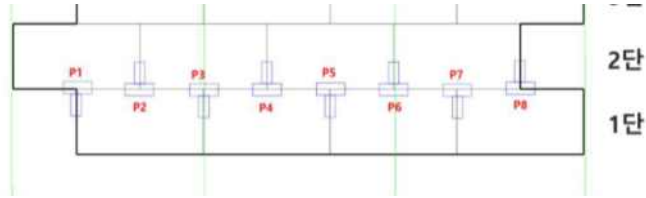
- ① 외부비계 안전난간 중간난간대 미설치 → 안전난간 2열 보강
- ② 비계내부 이동통로가 없어 통행로 미확보 → 해치발판·수직사다리 설치



[그림 2-17. 외부 용접 및 비계설치]

5) 용접부 비파괴 검사

> 비파괴 검사는 1단의 8군데 point에 대한 자분탐상검사를 진행하였으며 모든 point에서 합격으로 판명되었다. 8군데 point는 그림*과 같다.



[그림 2-18. 비파괴 검사 포인트]

6) 보온 및 외부판넬 설치

▶ 외부 보온재는 우레탄 폼을 이용하여 보온을 진행하였으며, 보온 두께는 100mm 로 진행하였다

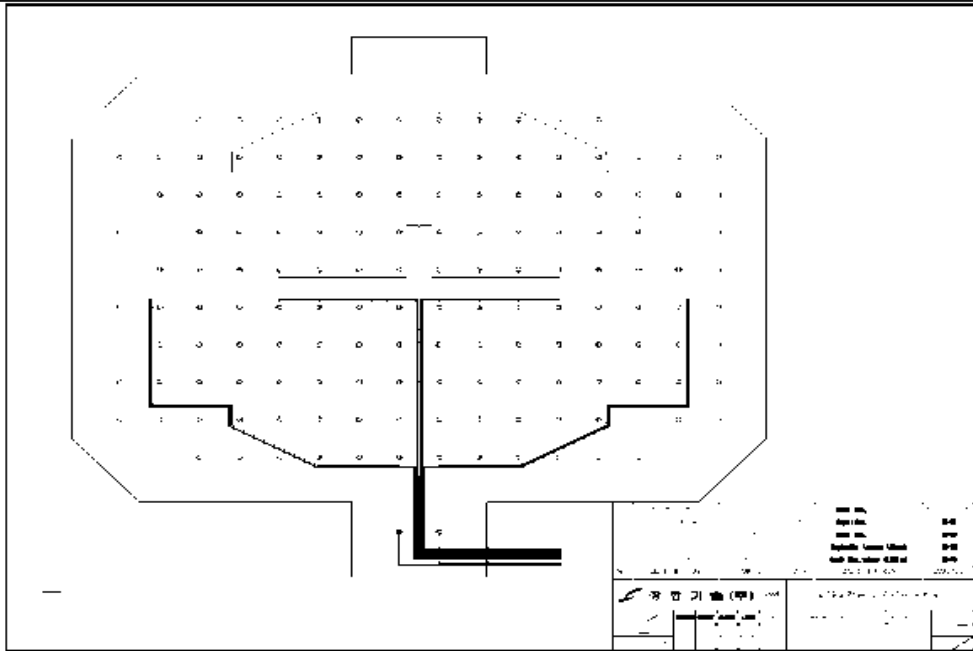


[그림 2-19. 보온 및 외부판넬 설치]

- 지중 계간축열조 설계 및 설치 공사

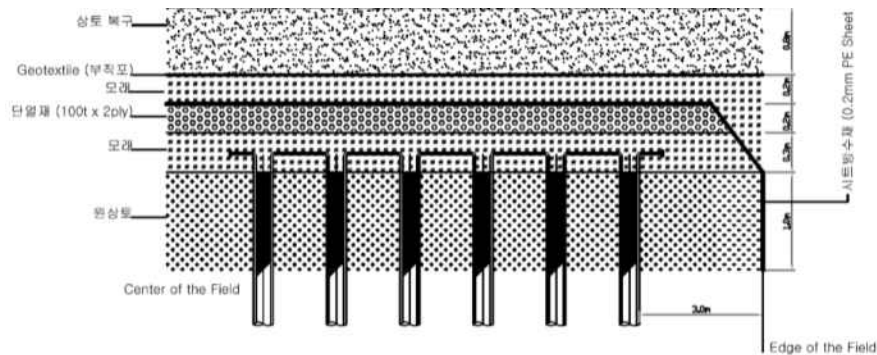
> 지중축열조(BTES) 설계

현장 명	푸르메 지중 축열조			
	구분	단위	비고	
BTES	깊이	30	m	깊이
	홀 수	152	holes(설치)	배치16x16
	설치 면적	40m x 25m	m	2.5 m간격
30,000		m3		
표면적	7,434	m2		



[그림 2-20. 지중축열(BTES) borehole 배열 도면]

실증단지에 설치된 지중축열조의 단면은 그림 2-27과 같다. 실증단지 지중축열조 공사는 다음과 같은 순서로 작업하였다.



Corss-section of the top portion of one BTES circuit

[그림 2-21. 지중축열조 단면]

- ㉓ 지표면에서 1.7 m 터파기 및 지하 30m 천공
- ㉔ 지중열교환기 설치 후, Borehole에 그라우팅 작업
- ㉕ 지중열교환기 보호를 위해 0.3 m 두께로 모래포설
- ㉖ 지상으로 열손실 방지를 위해 100t 단열재 1장 설치
- ㉗ 지중축열조로 비가 스며드는 것을 방지하기 위해 0.2t PE sheet 2장 설치하며, 시트방수재 설치 시 지중축열조 외곽 반경 3 m 까지 1 m 깊이까지 덮어주도록 설치
- ㉘ 단열재와 시트방수재의 보호를 위한 0.2 m 두께 모래포설
- ㉙ 비가 지중으로 스며들 때 물길을 만들어 흘러보내 방수역할을 하는 부직포 (Geotextile) 설치
- ㉚ 0.8 m 상토 복구

그림 2-28은 실제 실증단지 지중축열조 설치공사를 정리하였다. 지중축열조 공사는 2020년 10월~2021년 2월에 완료 되었다.



[그림 2-22. 실증단지 지중축열조 설치공사]

• 실증단지 계간축열조(BTES) 열특성 분석을 위한 열응답 시험 수행

- 실증단지의 계간축열조 (BTES)의 열특성을 분석하기 위하여 열응답 시험을 수행하였으며, 열량은 3kW 열량을 투입하였다. 투입공은 30m*2공 총 60m에 대한 열응답 시험공에 대하여 열응답 시험을 수행하였다. 일반적으로 열특성을 분석하기 위한 열응답 열량 투입량은 약 50m당 3kw가 기준으로 한다.

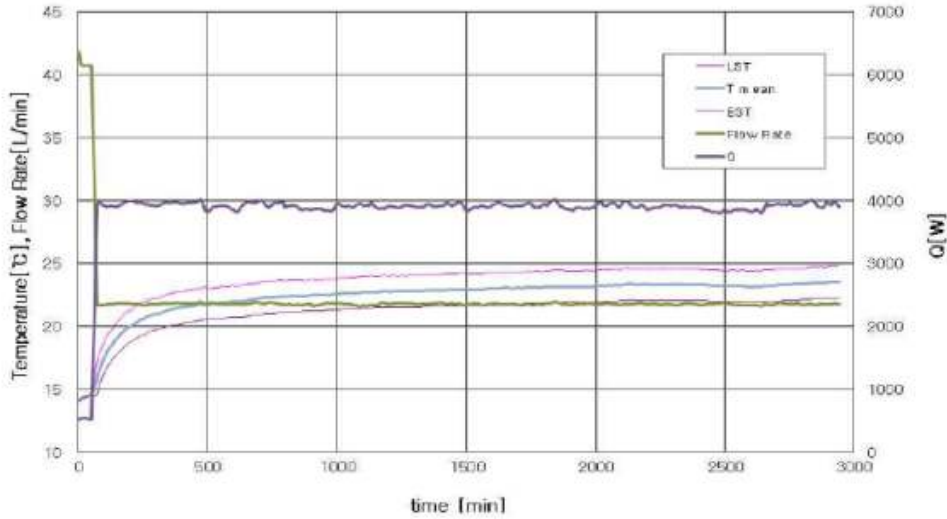


[그림 2-23. 실증단지 열응답 시험 사진]

- 열응답 시험 기본 정보

- 1) 측정공의 위치 : 여주 오학동 47, 실증단지 현장
- 2) 측정공의 깊이 및 관경 : 깊이 30m *2공, 관경 신KS 50A
- 3) 측정공의 타입 : 수직 밀폐형
- 4) 시험일정 : 11월 10~ 12일까지 진행함.

- 시험 결과



[그림 2-24.열응답 결과 data chart]

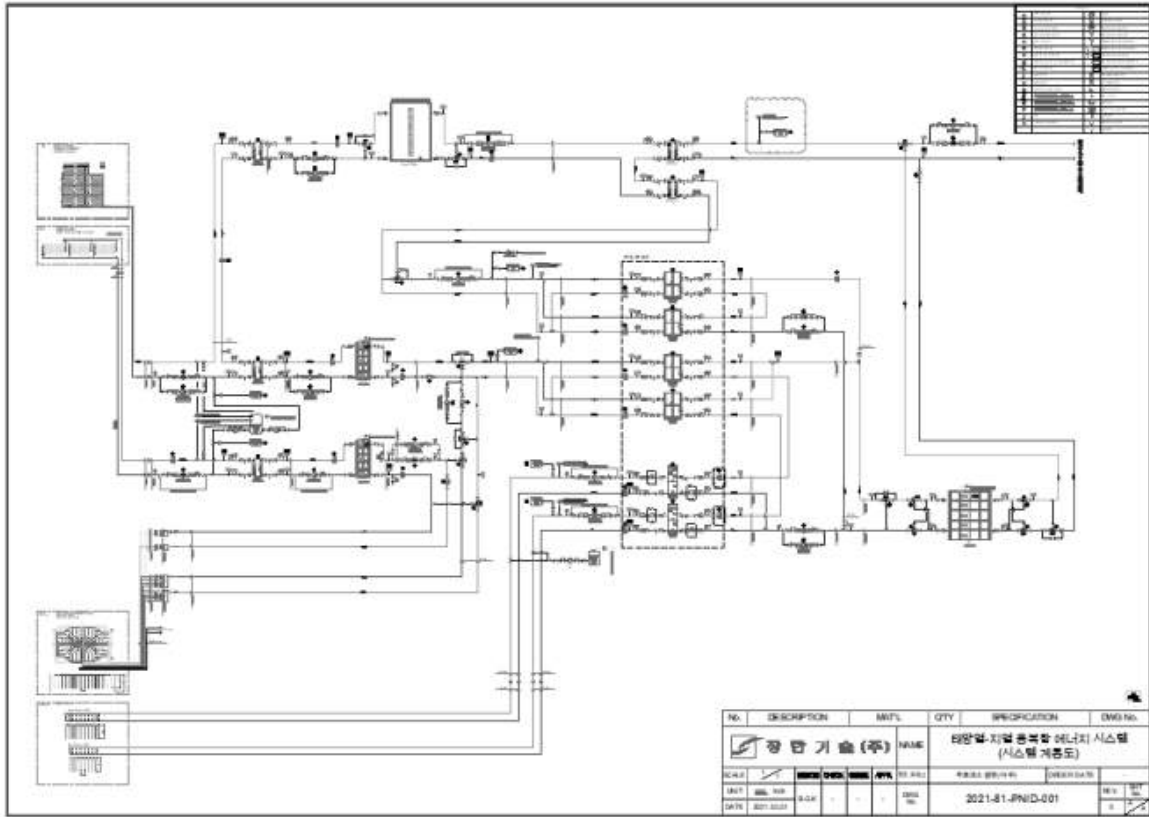
시 험 항 목	단 위	시험결과
초기 지중온도	℃	14.55
입출구 평균온도차	℃	2.52
평균 순환 수 량	L/min	21.78
평균 투입 열 량	W	3 915

[그림 2-25.열응답 시험 결과표]

: 시험결과 초기지중온도는 14.55도 였으며 입출구 평균 온도차는 2.52fh 측정되었다. 이때 평균 순환 수량은 21.78lpm이며, 투입열량은 3.915kW임.

- 실증단지 기계실(지열히트펌프, 보조 축열조(NTES), 제어실) 구축 및 열공급 배관망 완성

- 기계실 배관망 P&ID 구성



[그림 2-26.기계실 배관망 PnID]

- 기계실 구축(2층 공사 및 축열조 공사)

① 단기축열조(STTS) 및 일간 축열조(NTES) 설치공사

단기축열조(STTS)는 PVT 및 태양열 패널에서 얻어진 태양열을 지중에 저장하기 위하여 설치되었으며, 일간 축열조는 하루간의 사용할 부하량을 대응하기 위해 설치되었다.

② 기계실 공사

실증단지 기계실은 신재생 융복합 열에너지 공급시스템의 열전달매체를 순환시키기 위한 순환펌프, 전체 시스템 제어를 위한 제어기, 냉난방 부하를 처리하기 위한 하이브리드 히트펌프(GSHP)가 설치되었다. 그림 는 실증단지 기계실 설치 사진이며, 실증단지 기계실 설치공사는 2차년도 2월부터 2차년도 10월에 완성되었다.



(a) 중2층 기계실 시공



(b) 중2층 기계실 구축



(c) 축열조 공사



[그림 2-27. 기계실 구축 공사]

③ 기계실 제어 공사

기계실 내 전체 시스템 제어를 위한 제어기 설치 및 전기공사는 3차년도 8월~9월에 완료되었으며, 그림 2-35은 기계실 내에 설치된 제어기 사진이다.



[그림 2-28. 기계실 제어기 공사]

• 실증단지 구축시 수행된 인허가 관련 절차 및 항목 보고서

1) 토양 분석을 위한 굴착 신고

- 실증단지 내 계간축열조 설치를 위한 지질특성(토양분석용 시추공 작업) 분석
 - 푸르메재단 스마트팜에 대한 토양 채취 및 분석을 위한 굴착신고서 허가를 여주시청으로부터 득하였으며, BTES 후보지에 아래 그림과 같이 4곳을 위치 지정하여 토양분석 시추를 진행하였으며 그에 따른 굴착신고증 및 굴착 위치는 아래와 같다.

사람중심 영백여주

여주시
여주시수도사업소

수신 수신자 참조
(경유)
제목 굴착행위신고 수리 알림[2020-54 장한기술(주)]

1. 귀사에서 제출하신 굴착행위신고에 대하여 「지하수법」 시행규칙 제9조의4 규정에 의거 수리허용을 통보하였으나 지하수 관리에 안정을 기해 주시기 바라며, 굴착행위종료 후 굴착행위 종료신고서를 제출하여 주시기 바랍니다.

2. 아울러 지방세법 제24조 규정에 따라 굴착행위신고 수리에 따른 면허세 납부대상 여부를 여주시청 세무과(031-887-2191)로 문의하시어 면허세를 납부하시기 바랍니다.

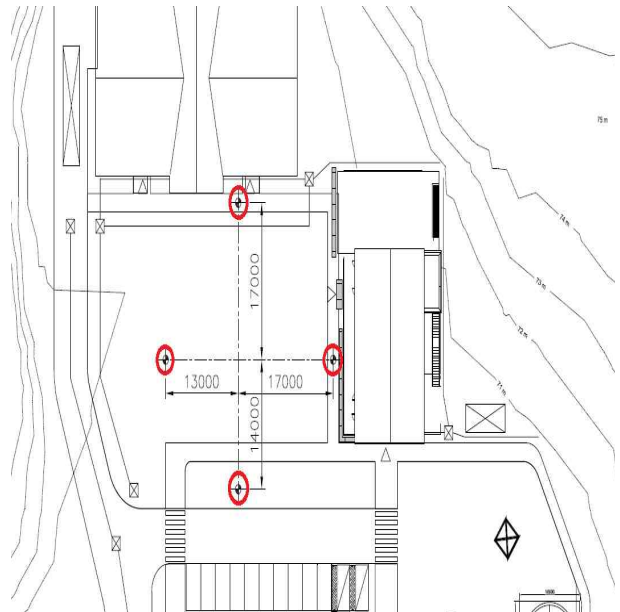
- 다 음 -

신고번호	굴착장소	굴착깊이 (m)	굴착지름 (mm)	굴착목적	비고
2020-54	여주시 오학동 47 여주시 오학동 47-1	50	150	지열 냉난방	3공 1공

붙임 굴착행위신고증 1부. 끝.

여주시수도사업소장
수신자 여주시청(세무과장), 장한기술(주)(송정남도 당진시 송악로15길52-16)

주무관 권원환 상수관리팀장 김영환 2020. 7. 31.
안문환
협조처
시행 수도사업소-12753 (2020. 7. 31.) 접수
우 12622 경기도 여주시 흥광길 97, 수도사업소 / http://www.yeou.go.kr
전화번호 031-887-3524 팩스번호 031-887-3510 / kwonbh11@korea.kr / 비공개(5)



[그림 2-29. 굴착행위신고허가증 및 굴착 위치]

2) BTES 설치공사를 위한 굴착 신고

- BTES 설치를 위한 30,40m 깊이의 161공 굴착을 위하여 굴착행위 신고를 하였으며, 그에따른 신고서는 아래와 같다.

■ 지하수법 시행규칙(별지 제18호서식) <개정 2018. 12. 30.>

굴착행위 신고서

※ 해당인 여부는 물론 신고인이 적지 않습니다.

신고인명	성명(법인명) 농업회사법인 푸르메소셜팜 주식회사	생년월일(법인등록번호) 131211-0029815
주소(법인인 경우에는 주된 사무소의 소재지)	경기도 여주시 오학동 47	
(전화번호 :)		

굴착행위 내용					
순번	위치	좌표(경도, 위도)	굴착 깊이	굴착 지름	굴착 목적
	경기도 여주시 오학동 47번지	별도첨부(161공)	30m(154공) 40m(7공)	150 mm	지열년·난방
착공 예정일			완성예측 예정일		
2020년 10월 일			2021년 04월 일		
예행 시공 업체명 (주)드림메이커 (119-88-65956)			대표자(주소) 송 단 호 경기도 화성시 송산면 송산로 220		

「지하수법」 제9조의4제1항 각 호 외의 부분 전단에 따라 위와 같이 지하수에 영향을 미치는 굴착행위를 신고합니다.

2020년 10월 15일

신고인: 농업회사법인 푸르메소셜팜 주식회사

여주시장 귀하

신고인 제출서류

1. 굴착행위의 위치를 표시한 지적도 또는 필어도
2. 완성예측계획서
3. 토지를 사용·수익할 수 있는 권리를 증명할 수 있는 서류(토지 등기사항증명서)는 제출하지 않습니다.

담당 공무원 확인사항: 토지 등기사항증명서

수수료 없음

처리절차

신고서 작성 → 접수 → 선입 → 검토 → 결정 → 신고증 발급

신고인 처리기관 (시·군·구) 처리기관 (시·군·구) 처리기관 (시·군·구) 처리기관 (시·군·구)

210mm×297mm(배상지 80g/㎡(제출용))

[그림 2-30. BTES 설치공사용 굴착행위신고서]

2) 태양열, PVT, 계간축열 설치공사를 위한 개발행위 허가 승인

- 태양열, PVT, 계간축열 설치를 위한 개발행위 신고 전체 건물 설계시에 반영하여, 일괄적으로 푸르메 소셜팜과 함께 진행 하였으며, 이에 따른 사업계획 승인서는 다음과 같다.

승인번호 제2020 - 9호

관광농원 사업계획 승인서

- 위 치 : 경기도 여주시 오학동 47번지 외 5필지
- 농원(지구)명 : 농업회사법인 푸르메소셜팜(주)
- 규 모 : 14,954㎡
- 사업기간 : 2020. 9. 7. ~ 2022. 9. 6.
- 사 일 비 : 945,290,000원
- 사업자(대표자)성명 : 농업회사법인 푸르메소셜팜(주)
대표 박경학(1963.11.02.)
- 주 소 : 경기도 여주시 도세로 247(오학동)

농어촌정비법 제83조 규정에 따라 다음조건을 부하여 관광농원개발 사업 계획을 승인합니다.

- 다 음 -

사업계획 승인후 설치시설물의 타용도 사용, 사업계획의 임의변경, 기타 본 사업의 당초 목적에 위배되는 사항이 발견될 경우에는 지구지정 취소 또는 사업계획승인(관련 인허가 포함) 취소와 훼손된 토지의 원상복구 등의 행정 조치를 취할 수 있다.

2020년 08월 27일

여 주 시 장

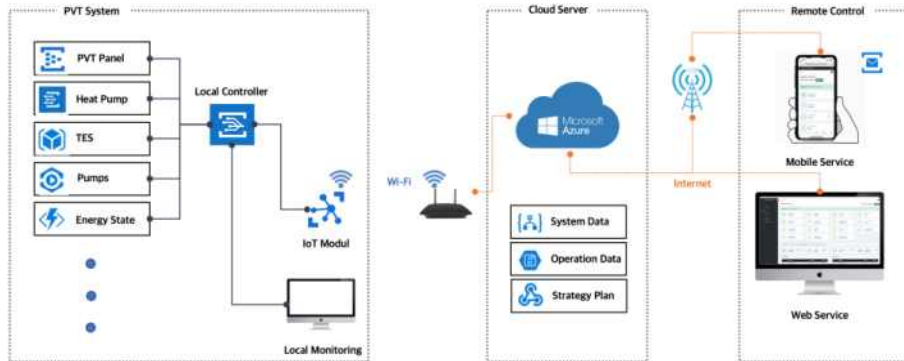
[그림 2-31. 실증공사용 사업계획 승인서]

- IoT 기반 실증단지 통합에너지 시스템 모니터링 설계안 마련

- IoT 기반 시스템 모니터링 구성도

- ① IoT 및 Web Service 개요

- ㉓ 에너지를 생산하고 소비하는 현장에서의 상황을 전달하고 판단하기 위하여 IoT 모듈을 개발 및 설치.
 - ㉔ 설치된 IoT 모듈은 현장의 정보를 클라우드 서버에 올리고 이를 저장.
 - ㉕ 클라우드 서버에 저장된 데이터는 인터넷 웹페이지 및 모바일 서비스로 확인 가능하도록 구현.



[그림 2-32. IoT 및 Web Service 개요도]

- 모니터링 RTU 모델 개발 요구사항

- ▷ LTE 통신이 가능한 곳 어디서든 데이터 통신이 가능
- ▷ IoT에 최적화된 LTE cat. M1을 적용한 저렴한 통신 요금
- ▷ Modbus-RTU 프로코콜이 구현된 한 개의 RS485 포트
- ▷ 입력 전원으로 DC5V에서 최대 36V 입력이 가능한 DC-DC 컨버터 내장
- ▷ USB를 통한 장치 설정 가능: 주소설정, 마스터/슬레이브 설정, 연결 장치 설정 등
- ▷ 향후 통신비용이 없는 데이터 전송이 가능하도록 Wi-Fi 마련

- 사용자를 위한 IoT 모듈이 결합된 모니터링/제어 시스템 개발

- RTU 모듈 개요

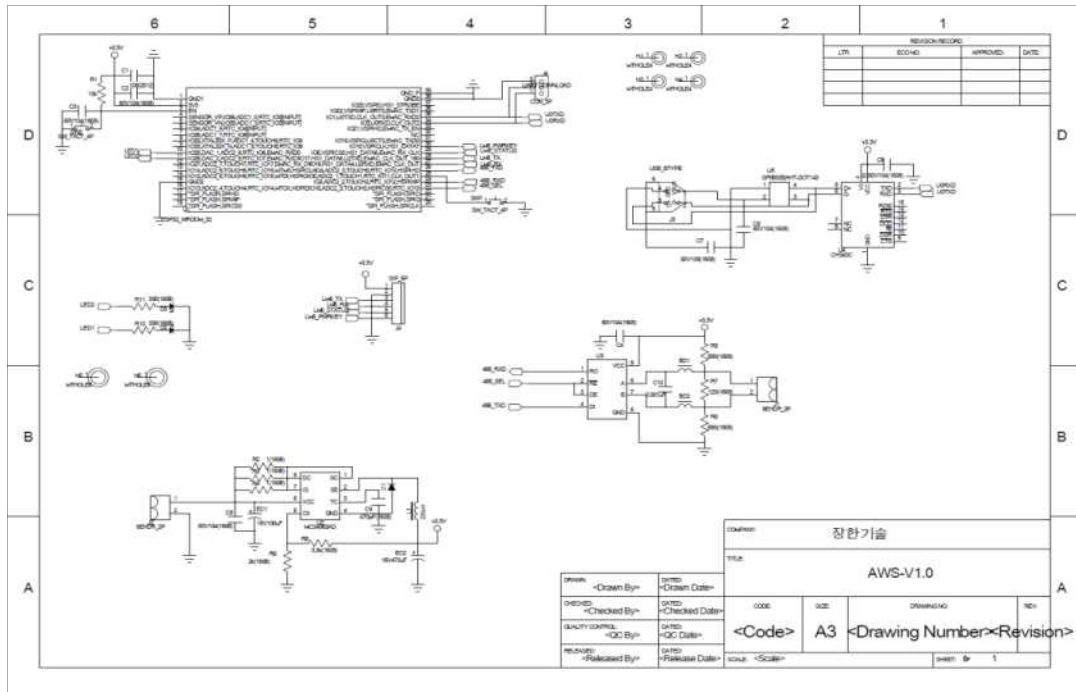
기계실의 설치 장비와 연결되어 원격으로 모니터링 할 수 있는 RTU(Remote Terminal Unit)을 개발. 위 장비와 RS485를 통한 Modbus-RTU 프로토콜로 데이터를 읽어 LTE CAT. M1모뎀으로 데이터서버와 무선통신을 함. 본 장치는 Modbus-RTU의 마스터와 슬레이브 역할을 할 수 있으며 슬레이브 경우, 장한기술 장비가 메인 제어기와 송수신하는 데이터를 중간에서 수집하여 서버에 전달할 수 있음.

- 모니터링 RTU 모델 회로 설계

마이크로 컨트롤러는 espressif社의 SoC인 ESP32로 한다. ESP32는 Xtensa의 듀얼 코어 32-bit LX6 마이크로프로세서로 240MHz에서 동작하고 최대 600DMIPS에서 동작한다. ESP32는 -40°C에서 125°C까지의 동작온도를 가지는 많은 산업 환경에서 신뢰할만한 기능을 갖추고 있다. 또한 초저전력 설계로 IoT기기에 적합하며 각종 I/O 인터페이스를 내장하고 있을 뿐 아니라 Wi-Fi와 Bluetooth기능까지 포함하고 있는 고집적 모듈이다. 전체 회로도 는 아래 <그림2-40>과 같다.

다양한 설치환경에 대응하기 위해 DC5V에서 최대 36V까지 사용할 수 있도록 정전압출력 DC-DC 벅(Buck) 컨버터를 포함한다. 이를 위해 100kHz의 chopping 주파수와 1.5A 전류까지 스위칭을 할 수 있는 MC34063를 사용하였다. 상세 컨버터 회로는 <그림2-41>와 같다.

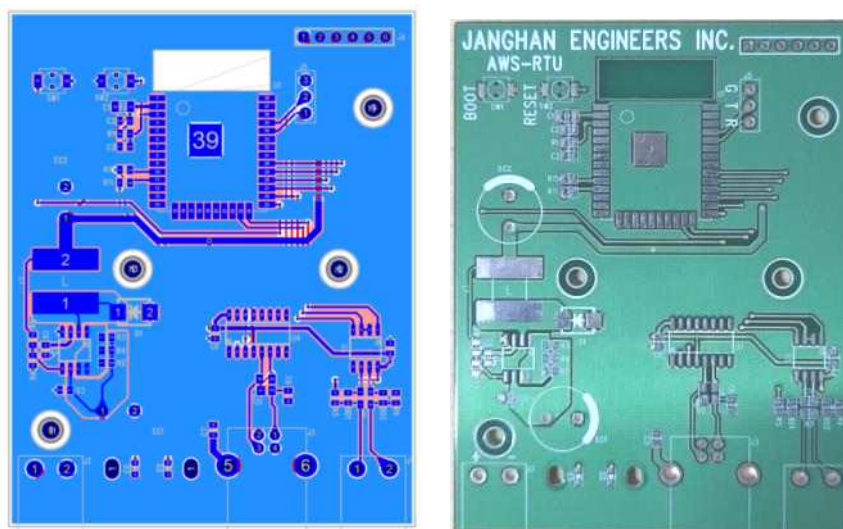
현장에서 장치 설정 등으로 활용할 수 있도록 USB인터페이스를 추가하였다. 별도의 PC 프로그램을 제작하여 장치와 데이터 통신을 구현하면 된다. 마지막으로 RS485인터페이스 Modbus-RTU 프로토콜로 외부장치들과 데이터통신을 할 수 있도록 설계하였다.



[그림 2-33. IoT 모듈 전체 회로도]

- PCB설계

설계된 회로를 바탕으로 PCB 설계를 수행하였다. PCB는 양면 1.6T HAL처리로 진행하였고, 각 부품들의 DECAL 작성과 연결선들을 Routing하고, PCB의 layout은 선정된 케이스 (엔클로저)에 맞게 제작되었다. <그림 2-42>는 PCB 이미지이다.



(a) PCB 이미지

(b) PCB 실물 이미지

[그림 2-34. PCB 제작]



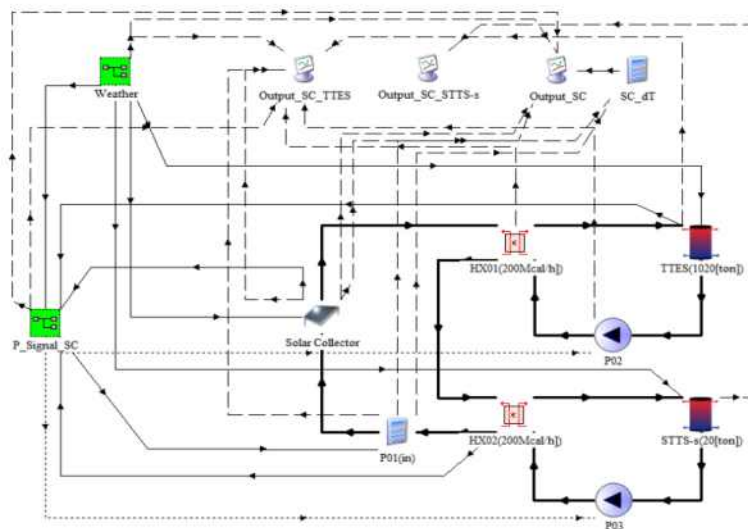
[그림 2-38. 지중축열(BTES) 및 TTES 축열온도 연간 결과 그래프]

: TTES의 경우 70도를 넘는 순간 태양열 집열기에서 나오는 열량을 BTES에 보내며, BTES는 10월에 32도까지 축열온도가 올라가는 것으로 계산되었다. TTES의 경우 7월말에 목표온도인 70도에 도달하는 것으로 계산되었다.

- TRNSYS를 활용한 축열 운전 시뮬레이션 모델 개발

: 집열을 통해 TTES에 축열하는 TRNSYS 시뮬레이션 작성

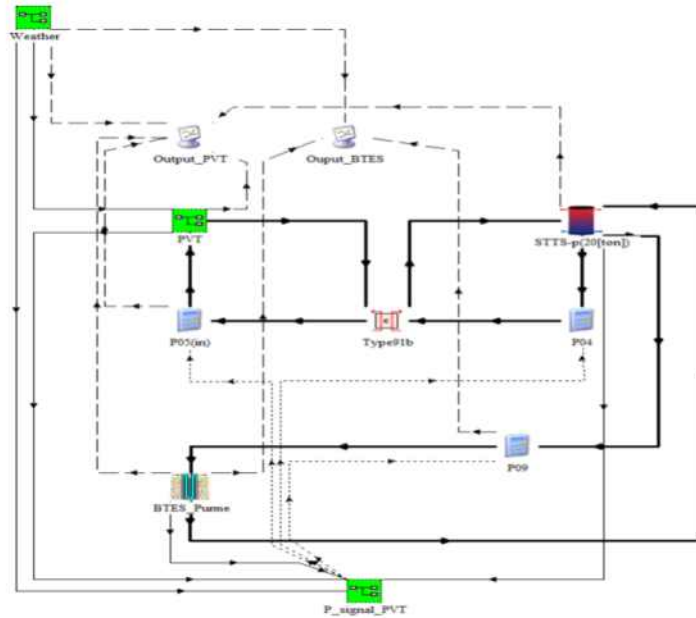
: 이때 태양열 모델은 TYPE557a을 사용하였으며 TTES의 경우는 그림 2-50으로 구성하였다.



[그림 2-39. 태양열을 활용한 TTES 축열 trnsys 작성]

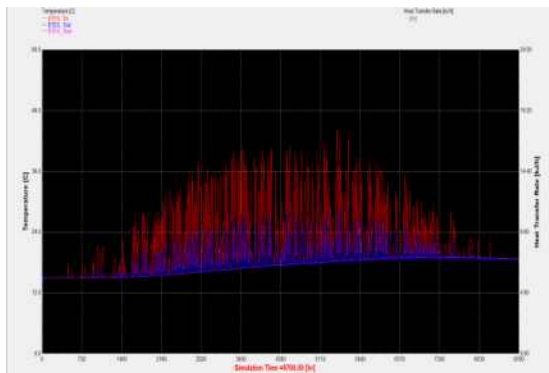
: PVT 집열을 통해 BTES에 축열하는 TRNSYS 시뮬레이션 작성

: 이때 PVT 모델은 Type1294-1dIAMS를 사용하였으며, BTES의 경우는 TYPE534_ NoHX type 을 사용하였고 그림 2-51로 구성하였다.

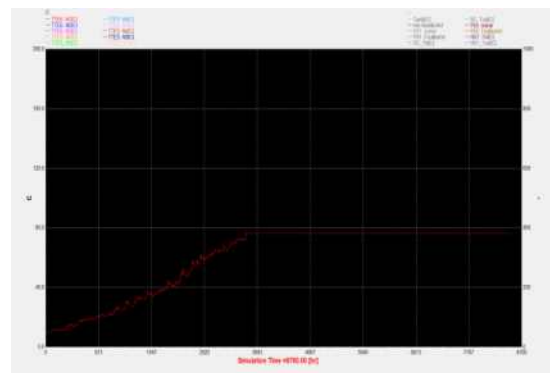


[그림 2-40. PVT를 활용한 BTES 축열 trnsys 작성]

: 위 TRNSYS 시뮬레이션 작성을 통한 BTES, TTES,STTS의 연간 온도 변화는 그림2-52 과 같다.



(a) 지중 축열온도 연간 그래프



(b) TTES 축열온도 연간 그래프

[그림 2-41. 지중축열(BTES) 온도 연간 결과 그래프]

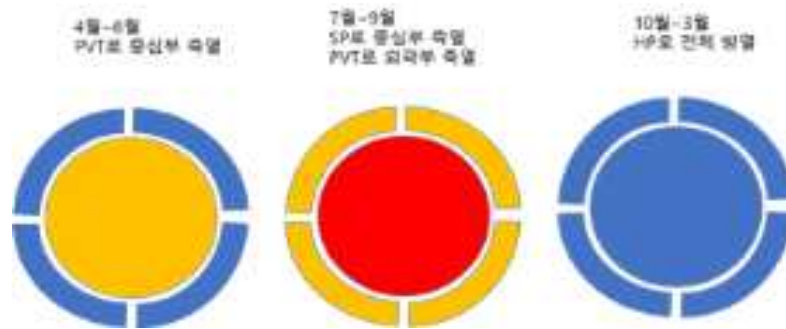
: TTES의 경우 70도를 넘는 순간 태양열 집열기에서 나오는 열량을 BTES에 보내도록 시뮬레이션 하였으며, BTES는 10월에 32도까지 축열온도가 올라가는 것으로 계산되었다. TTES의 경우 5월말에 목표온도인 70도에 도달하는 것으로 계산되었다. 이는 BTES의 경우 태양열 패널의 집열과 연동하지 못하였고, TTES의 경우도 난방부하를 아직 연계시키지 않아 겨울시즌에도 부하가 없다고 생각하고 시뮬레이션하여 엑셀 만든 결과값과 상이한 것으로 예상되며 향후 부하모델 및 두 시스템 모델링을 연동하면 결과값이 보다 정확해 질 것으로 예상된다.

- 에너지 비용 최적 제어를 고려한 축열 운전 전략 수립

: 최적 운전을 위해서 태양열 패널과 PVT 패널에서 시간별 생산된 열을 BTES와 TTES에 적절하게 배분 전략이 필요하며 현재는 TTES 우선 축열 전략을 사용하고 있다. 이는 목표 온도 70도까지 TTES가 도달하면 나머지 열은 BTES에 보내는 전략이며 3차년도에는 TTES & BTES 교번 축열 전략을 시뮬레이션하여 적용할지 여부를 결정할 예정이다. 방열 운전의 경우 축열된 열을

간절기 또는 겨울철 난방시에 각각의 축열조에서 얼마만큼 배분하여 사용할 것인지의 전략이 필요하며 현재는 TTES 우선 방열 전략을 사용하고 있다. 이는 TTES가 높은 온도(70)로 축열하기 때문에 단열측면에서 TTES 열원을 우선적으로 방열하도록 운전하고 있다.

: BTES의 경우 축열시 태양열 패널에서 높은 온도로 공급되는 열원과 PVT에서 공급되는 저온열 간의 차이로 간섭이 생기지 않고 축열할수 있도록 Zone을 구분하였으며, 중앙부의 높은 온도가 주변으로 빠져나가지 않도록 PVT 저온열을 외부 ZONE으로 축열하도록 그림 2-53과 같이 배치하였다.



[그림 2-42. BTES 축열 및 방열 전략]

- 통합에너지 시스템 실증운전 결과 분석 및 에너지 설비 개선방안 도출/개선

- 실증 운전 결과 분석 및 개선방안 도출/개선

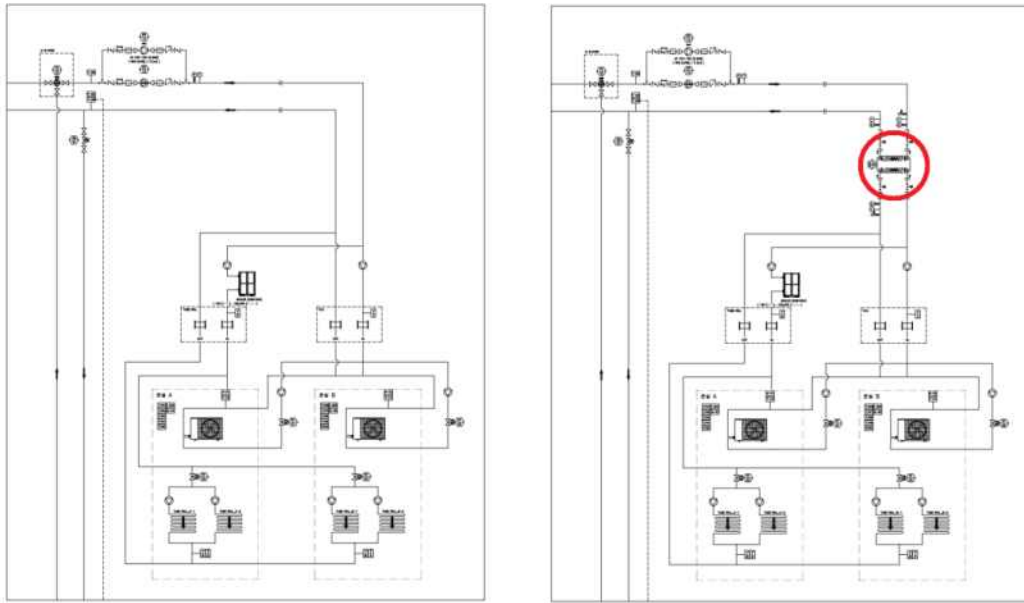
: 올해 9월에 설비공사가 마무리되고 9월부터 시운전이 시작되어 실증 운전에 따른 결과 분석보다는 시운전을 통한 문제점을 발견하고 개선할 점을 먼저 도출하였다. 3차 년도에도 실증운전 결과 분석 및 설비 개선 방안을 계속 도출할 예정이며, 현재까지 분석한 설비 문제 및 개선점은 아래와 같다.

- 1) 문제점

온실 내부의 관리 주체가 푸르메 재단인관계로 온실측 PE 배관의 변경이나 누수 시 기계실 내부 열매체가 모두 빠져버리는 현상이 있음. 실제 시운전 중 온실측 매립 PE관이 파손되어, NTES (120톤) 물이 모두 빠진 적이 있음.

- 2) 개선방안 도출

열교환기를 온실 측과 기계실 사이에 추가하여 각각의 열매체 흐름을 분리하여, 온실내 배관문제(누수)등에 대응하도록 변경.



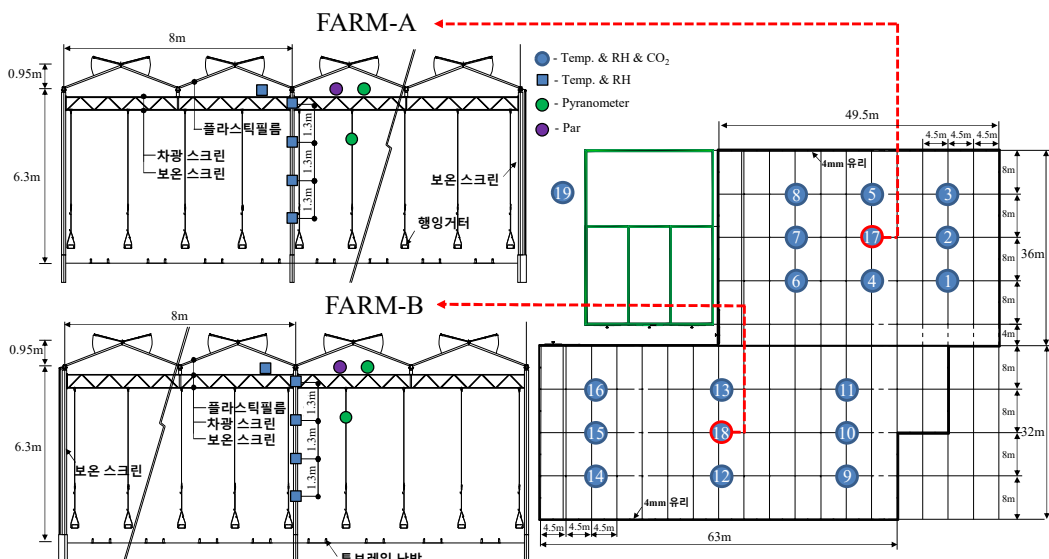
(a) 개선 전

(b) 개선 (안)

[그림 2-43. 온실측 분리를 위한 개선방향 도출]

• 시운전 및 실증운전 모니터링 결과를 바탕으로 온실 내부 환경변화 분석

- 실증온실은 그림 2-44와 같이 8연동 벤로형 온실로 지붕은 플라스틱필름으로 피복되었고 측벽은 유리(HG-4mm)로 피복되어 있다. 온실은 4연동씩 온실-A와 온실-B로 나누어 두 개 동으로 구성되어 있으며, 온실-A의 크기는 36m × 49.5m × 7.25m 이고 온실-B의 크기는 32m × (63~72m) × 7.25m이다. 천정에는 차광 및 보온 스크린이 설치되어 있고 측벽에도 보온 스크린이 설치되어 있다. 온실 내부에는 냉난방을 위해 바닥 난방관과 팬코일 및 냉온풍 덕트가 설치되어 있다.
- 실증온실 내부의 환경을 측정하기 위하여 그림 2-44과 같이 센서를 배치하였다. 온실-A와 온실-B의 중앙에 각각 수직으로 온습도 센서를 5개씩 설치하였고, 스크린 위에는 일사 센서와 PAR 센서를 아래에는 일사 센서를 각각 설치하였다. 수평방향으로는 일정 간격으로 온습도 센서를 9개씩 설치하였고 동일한 위치에 탄산가스 센서를 추가로 설치하였다. 외부에도 일사 센서와 PAR 센서 각각 1개씩과 온습도 센서 3개를 설치하였다.



[그림 2-44. 실증온실 도면 및 센서 배치]

- 표 2-1과 2-2는 다양한 분석조건(냉방 및 무냉방, 센서의 수평위치, 온실크기)이 실증온실 내부의 온도, 상대습도, 포차의 수평분포에 미치는 영향 대하여 분산분석을 실시한 결과이다. 냉방 데이터는 2021. 7. 21 ~ 2021. 7. 24 기간의 자료를 사용하였고, 무냉방 데이터는 2021. 9. 6 ~ 2021. 9. 9 기간의 자료를 사용하였다.
- 표 2-1은 온실 A와 온실 B의 냉방유무 및 센서위치가 온도, 상대습도 및 포차 수평분포에 미치는 영향에 대한 분석 결과이다. 냉방유무 및 센서 위치에 따른 온실 B의 모든 환경(온도, 상대습도, 포차) 분포가 유의한 차이가 있음을 보여주고 있다. 반면에 온실 A에서는 온도를 제외한 모든 환경의 분포가 유의한 차이가 있음을 보여주고 있고, 온도에서는 냉방유무에 대해서만 유의한 차이가 있음을 보여주고 있다.
- 표 2-2는 냉방 및 무냉방에 대하여 온실크기 및 센서위치가 온도, 상대습도 및 포차 분포에 미치는 영향에 대한 분석 결과이다. 냉방기간 동안 두 온실 모두 모든 센서에서 환경의 분포가 유의한 차이가 있음을 보여주고 있다. 반면에 무냉방기간 동안에는 상대습도는 온실크기와 센서위치, 온도는 온실크기, 포차는 센서위치에서 유의한 차이가 있음을 보여주고 있다.

[표 2-1. 온실-A와 온실-B의 냉방유무 및 센서위치가 온도, 상대습도 및 포차 분포에 미치는 영향에 대한 분산 분석 결과]

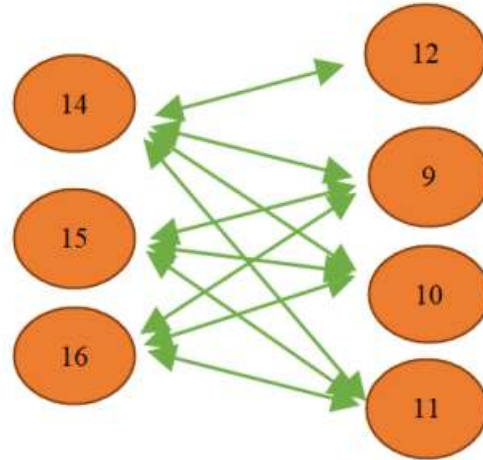
	분석조건	온도				상대습도				포차			
		df	F	P-value	F _{crit}	df	F	P-value	F _{crit}	df	F	P-value	F _{crit}
온실 A	냉방유무	1	1599.22	p<0.05	3.84	1	7.75	p<0.05	3.84	1	75.99	p<0.05	3.84
	센서위치	7	0.22	ns	2.01	7	18.31	p<0.05	2.01	7	8.14	p<0.05	2.01
	상호작용	7	0.93	ns	2.01	7	8.87	p<0.05	2.01	7	5.10	p<0.05	2.01
온실 B	냉방유무	1	2119.42	p<0.05	3.84	1	158.62	p<0.05	3.84	1	483.01	p<0.05	3.84
	센서위치	7	6.78	p<0.05	2.01	7	43.15	p<0.05	2.01	7	35.09	p<0.05	2.01
	상호작용	7	3.98	p<0.05	2.01	7	6.74	p<0.05	2.01	7	15.46	p<0.05	2.01

[표 2-2. 냉방 및 무냉방 조건에 대하여 온실크기 및 센서위치가 온도, 상대습도 및 포차 분포에 미치는 영향에 대한 분산 분석 결과]

	분석조건	온도				상대습도				포차			
		df	F	P-value	F _{crit}	df	F	P-value	F _{crit}	df	F	P-value	F _{crit}
냉방	온실크기	1	72.41	p<0.05	3.84	1	185.12	p<0.05	3.84	1	201.22	p<0.05	3.84
	센서위치	7	5.63	p<0.05	2.01	7	40.70	p<0.05	2.01	7	37.21	p<0.05	2.01
	상호작용	7	3.70	p<0.05	2.01	7	9.23	p<0.05	2.01	7	12.58	p<0.05	2.01
무냉방	온실크기	1	11.09	p<0.05	3.84	1	9.12	p<0.05	3.84	1	0.02	ns	3.84
	센서위치	7	0.22	ns	2.01	7	19.57	p<0.05	2.01	7	5.43	p<0.05	2.01
	상호작용	7	0.70	ns	2.01	7	9.83	p<0.05	2.01	7	4.68	p<0.05	2.01

- 그림 2-45은 온실 B의 냉방기간 동안 온도차이에 대한 사후분석 결과이다. 센서위치 14, 15 및 16의 값이 서로는 유의한 차이가 없으나 9, 10 및 11과는 유의한 차이가 있었고 14도 12와 유의

한 차이가 있음을 보여주었다.



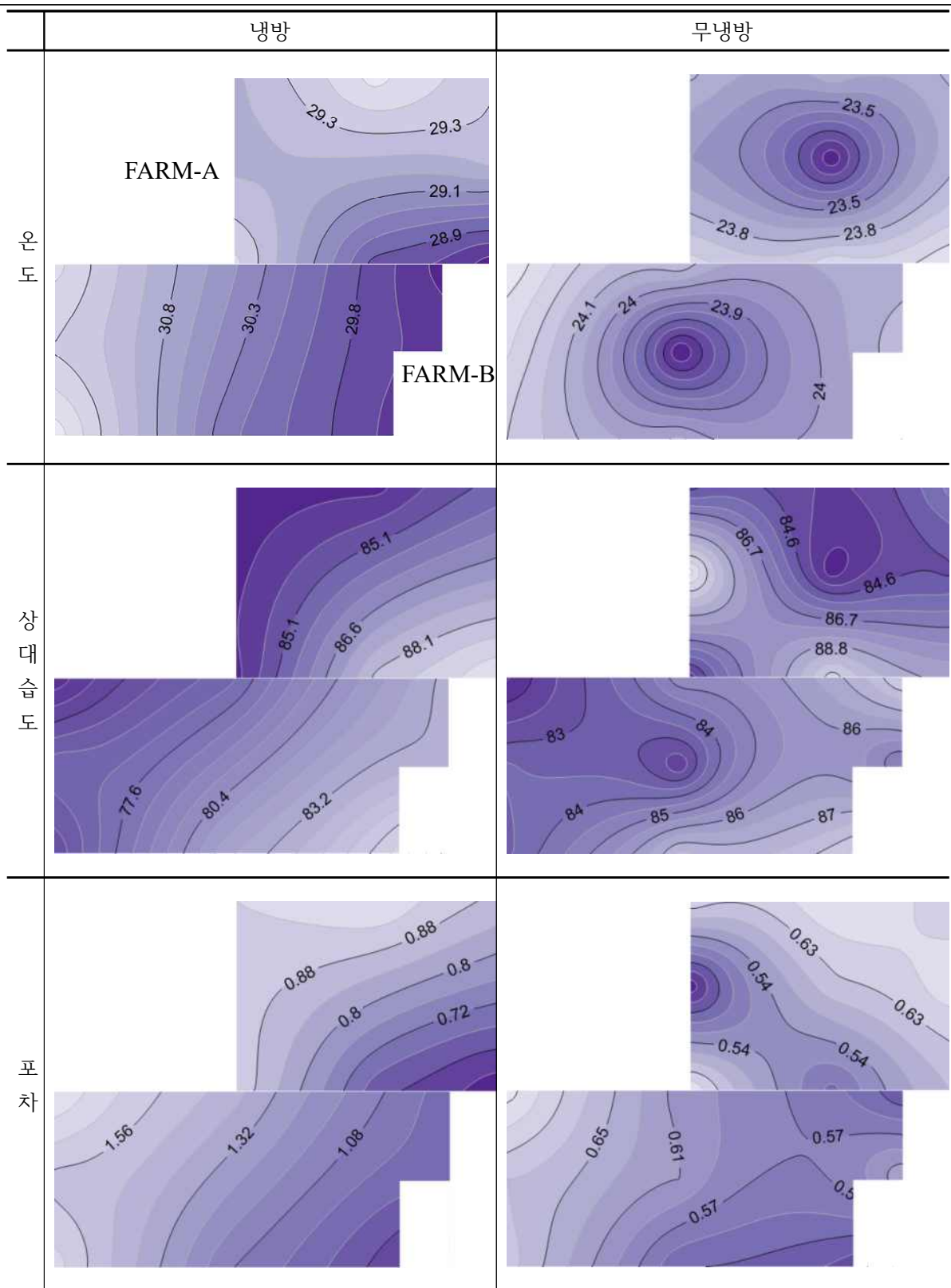
[그림 2-45. 온실-B의 냉방기간 동안 온도차이에 대한 사후분석 결과]

- 표 2-3은 냉방유무, 온실크기 및 센서위치에 따른 온도에 대한 기술통계 분석 결과이다. 온실-A의 냉방기간 동안 최고온도의 합계(평균온도)는 센서 5에서 12712.09 (29.43)°C로 나타난 반면에 최저온도의 합계는 센서 1에서 12431.39 (28.78)°C로 나타났다. 온실-B의 냉방기간 동안 최고온도의 합계(평균온도)는 센서 14에서 13647.71 (31.59)°C로 나타난 반면에 최저온도의 합계는 센서 9에서 12730.12 (29.47)°C로 나타났다. 무냉방기간 동안에는 온실-A에서는 최고온도의 합계(평균온도)가 센서 1에서 10417.97 (24.12)°C 이고 최저온도의 합계는 센서 17에서 9917.96 (22.96)°C로 나타난 반면에 온실-B에서는 최고온도의 합계(평균온도)가 센서 16에서 10578.59 (24.49)°C이고 최저온도의 합계는 센서 18에서 10126.47 (23.44)°C로 나타났다. 냉방 유무와 관계없이 14, 15, 16 센서에서 최대값을 보여주고 있다. 온실-A는 두 기간 모두 수평방향의 온도분포가 균일하였으나, 온실-B는 냉방기간 동안 균일하지 않은 것으로 분석되었다.

[표 2-3. 냉방유무, 온실크기 및 센서위치에 따른 온도에 대한 기술통계 분석 결과]

		온실 A									온실 B								
센서 번호	1	2	3	4	5	6	7	8	17	9	10	11	12	13	14	15	16	18	
냉방	평균	28.78	29.25	29.30	28.91	29.43	29.37	29.21	29.22	**	29.47	29.65	29.49	30.20	30.52	31.59	31.18	31.40	**
	중앙 값	27.15	27.65	27.22	27.27	27.26	27.58	27.38	27.26	**	28.01	28.15	28.04	28.46	28.52	29.39	29.09	28.73	**
	최빈 값	26.28	35.31	22.11	22.73	22.37	22.78	22.58	22.61	**	22.70	22.92	22.75	24.46	22.99	23.35	23.38	26.38	**
	표준 편차	5.47	5.82	6.01	5.45	6.12	5.69	5.72	5.73	**	5.74	5.89	5.75	6.26	6.57	7.29	6.94	7.23	**
	최소 값	21.96	21.94	22.08	22.20	22.30	22.54	22.32	22.56	**	22.03	22.11	22.06	22.35	22.49	22.82	22.85	22.97	**
	최대 값	39.71	40.63	41.50	39.86	43.04	41.68	40.78	41.94	**	39.89	40.46	40.06	42.95	43.83	46.00	45.81	46.32	**
	합계	12431.39	12636.64	12655.95	12489.21	12712.09	12688.63	12617.57	12622.39	**	12730.12	12807.04	12741.50	13046.65	13185.15	13647.71	13469.70	13563.99	**
	데이 터수	432	432	432	432	432	432	432	432	**	432	432	432	432	432	432	432	432	**
무냉방	평균	24.12	23.72	23.78	24.01	23.74	23.98	23.58	23.78	22.96	24.08	24.21	24.12	24.10	24.21	24.29	24.37	24.49	23.44
	중앙 값	21.96	21.68	21.72	21.96	21.71	22.13	21.75	21.70	21.46	22.50	22.62	22.58	22.58	22.73	22.49	22.67	22.76	22.41
	최빈 값	19.91	21.65	21.39	21.87	21.44	21.94	21.68	21.68	21.30	22.75	22.90	22.90	22.75	22.90	22.47	22.58	22.56	22.49
	표준 편차	5.61	5.42	5.44	5.32	5.30	5.13	5.19	5.36	4.69	4.68	4.60	4.46	4.44	4.33	4.74	4.57	4.52	3.74
	최소 값	17.70	17.20	17.53	17.94	18.08	18.13	17.32	17.84	17.31	18.79	19.03	19.10	19.44	19.60	19.72	19.96	20.06	19.25
	최대 값	41.82	39.09	39.80	40.37	39.15	39.43	38.64	39.91	35.42	38.39	38.28	38.09	38.06	38.11	40.03	39.77	39.80	33.93
	합계	10417.97	10247.86	10271.11	10371.08	10256.38	10360.81	10186.66	10271.51	9917.96	10403.07	10459.29	10421.71	10411.86	10459.90	10494.60	10528.37	10578.59	10126.47
	데이 터수	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432	432

- 그림 2-46는 실증온실 내부의 온도, 상대습도, 포차의 분포도이다. 온도에 대한 통계분석의 결과에서 볼 수 있었던 바와 같이 냉방조건에서 온실-B의 길이방향으로의 온도 편차가 발생하였다. 이는 팬코일로부터 공급된 냉각공기가 덕트를 통해서 반대 방향으로 흘러가는 과정에서 온도가 상승했기 때문으로 판단된다. 수평방향으로 온도분포의 균일성을 확보하기 위해서는 이중덕트를 사용하여 덕트의 단열성을 높이거나, 덕트의 길이방향으로 배치된 배출공의 간격을 적절하게 조절하여 균일한 온도의 냉각공기가 배출되도록 조치할 필요가 있을 것으로 판단된다.

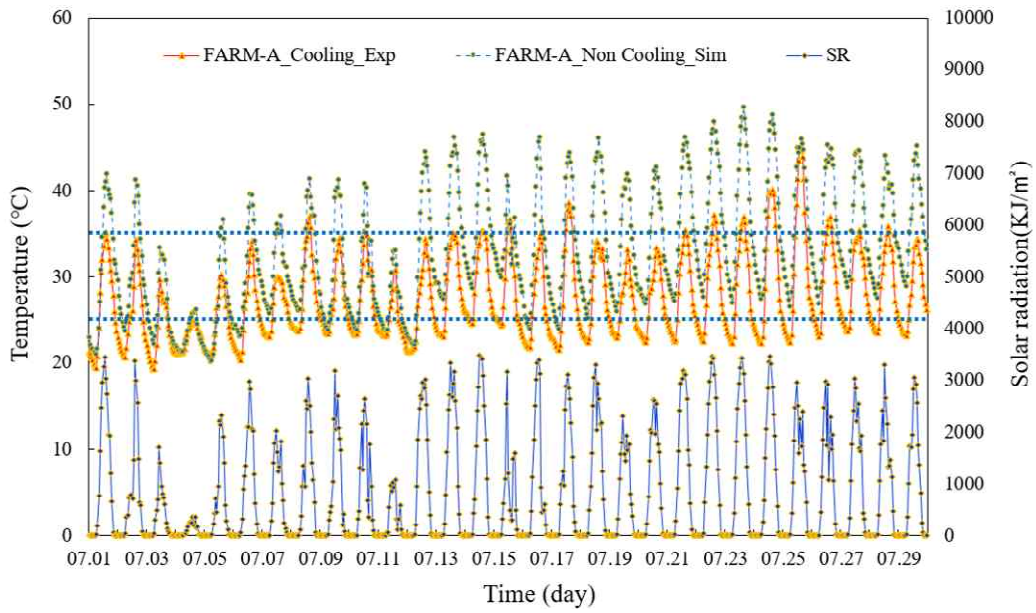


[그림 2-46. 실증온실 내부의 3일 평균 온도, 상대습도 및 포차 분포도]

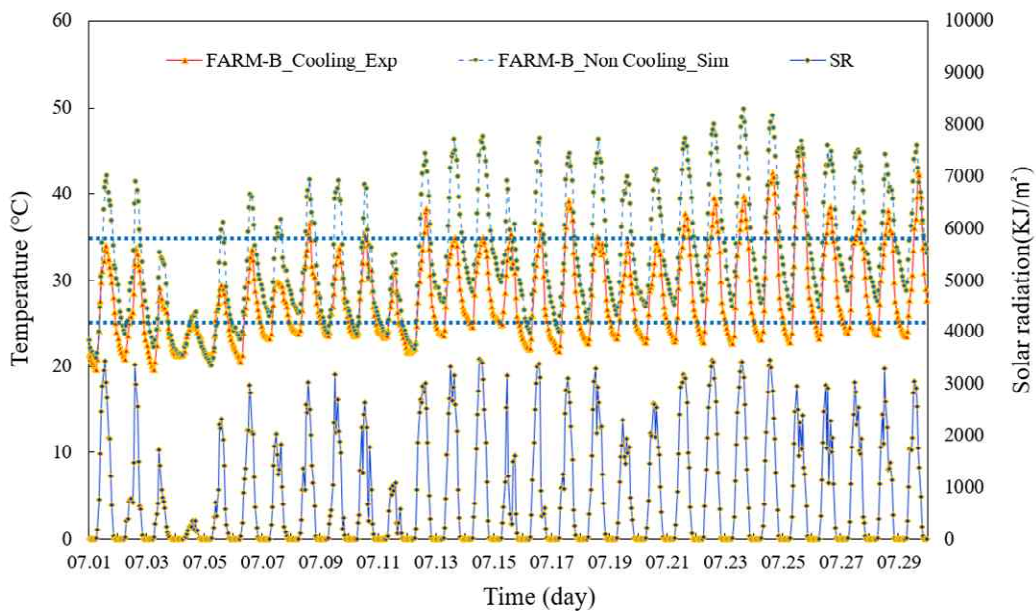
• 온실 내 냉난방 공조 시스템의 온실 내 환경 조절 성능 및 효과 분석

- 그림 2-47은 2021년 7월에 온실-A와 온실-B에 대하여 냉방과 무냉방 조건에서의 온실 내부온도를 비교한 것으로, 냉방 온도는 실제 측정값이며 무냉방 온도는 시뮬레이션 모델을 이용하여 계산한 값이다. 냉방으로 인해 온실-A는 평균 5.3°C가 낮아졌고 온실-B는 평균 4.6°C가 낮아져 온실-A의 냉방효과가 더 좋은 것으로 나타났다. 주간에는 최대 12°C 정도까지 낮아진 것으로 나

타났다. 냉방온실의 주간 최고온도는 대부분의 날이 약 35°C 내외였고, 야간 최저온도는 대부분 23°C 이하로 나타나 온도를 최적온도로 낮추기에는 냉방용량이 부족한 것으로 판단되었다.



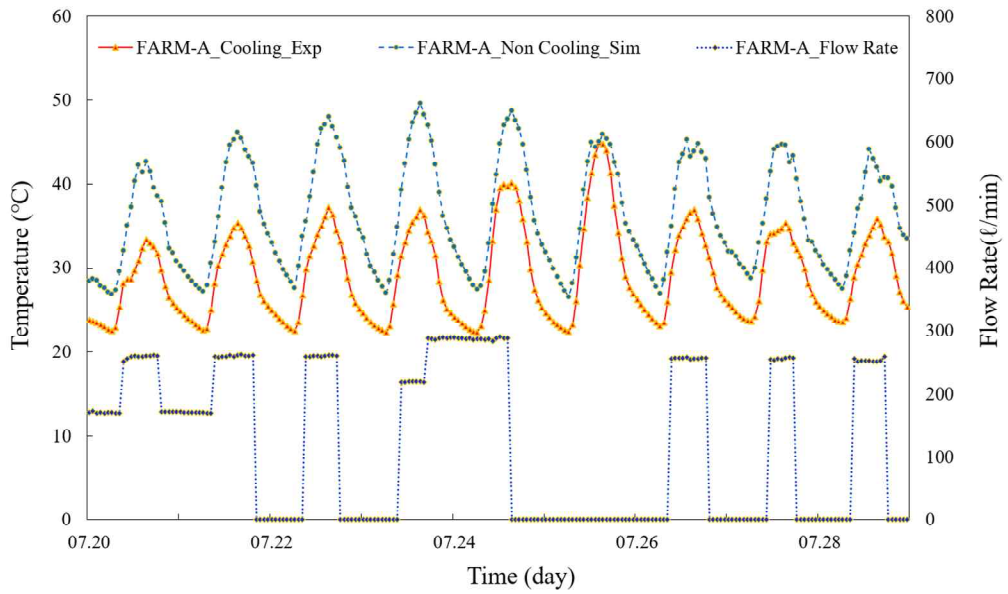
(a) 온실-A



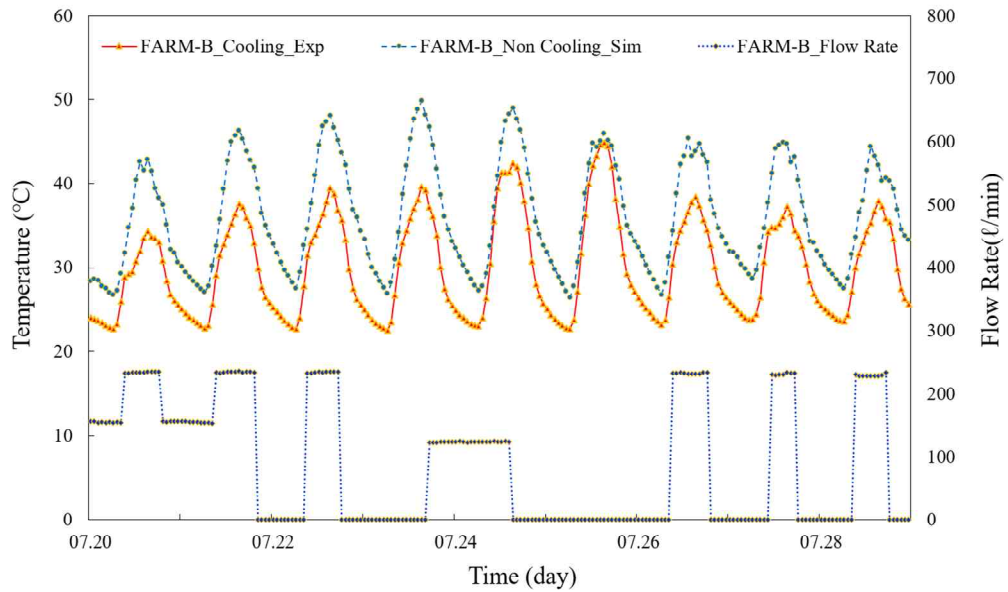
(b) 온실-B

[그림 2-47. 냉방 및 무냉방 실증온실의 내부온도 비교]

- 그림 2-48은 온실-A와 온실-B에 대하여 팬코일 유닛에 공급된 냉각수 공급량과 냉방 및 무냉방 조건에서의 온실 내부온도 변화를 비교한 것이다. 냉각수 공급량의 변화에 따르면 7월 25일은 냉각수가 공급되지 않아 냉방을 실시하지 않은 것으로 파악되었다. 따라서 온도변화에서도 냉방 조건과 무냉방 조건의 온실 내부온도가 유사하게 나타났으며, 시뮬레이션 계산 결과가 타당함을 확인할 수 있었다.



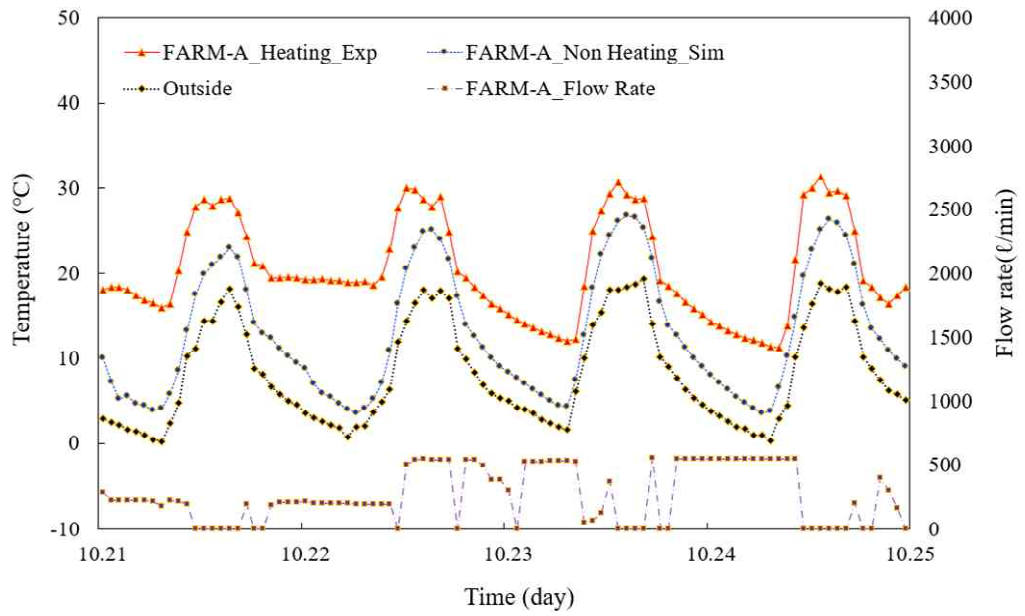
(a) 온실-A



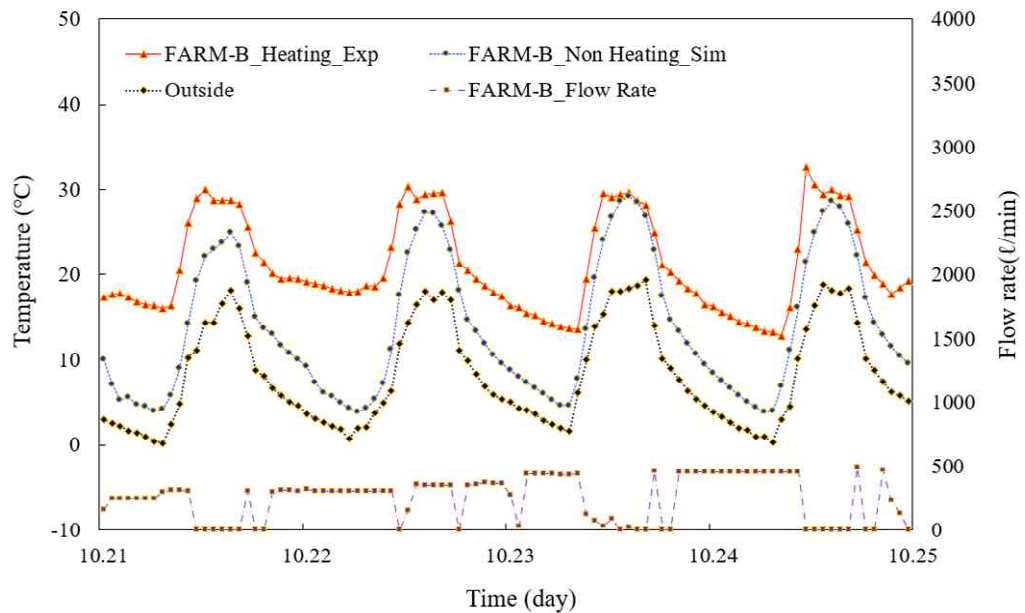
(b) 온실-B

[그림 2-48. 냉각수 공급량 및 내부온도 변화]

- 그림 2-49은 2021년 10월에 온실-A와 온실-B에 대하여 난방기간 동안 난방과 무난방 조건에서의 온실 내부온도 및 바닥 난방관에 공급된 온수 공급량의 변화를 나타낸 것이다. 난방 조건에서의 온도는 측정값이며, 무난방 조건에서의 온도는 시뮬레이션 모델을 이용하여 계산한 값이다.
- 야간에 난방으로 인해 온실-A는 무난방일 때보다 최대 15.3°C가 높았고, 온실-B는 최대 14.4°C가 높아 온실의 난방효과는 좋은 것으로 나타났다. 그러나 야간의 난방온도가 매일 동일하게 일정한 값이 유지되지 못해 안정적인 제어가 되지 못한 것으로 나타났으며, 이는 난방공급열량이 불충분하거나 온도제어에 문제가 있기 때문으로 판단되며 이에 대한 검토와 보완이 필요하다.
- 주간 온실 내부의 난방온도가 30°C 이상으로 무난방 온도보다 더 높게 나타나 불필요한 난방이 되었음을 보여주고 있다. 이러한 문제들은 주야간 난방온도를 적절하게 설정하면 해결할 수 있을 것으로 판단된다.



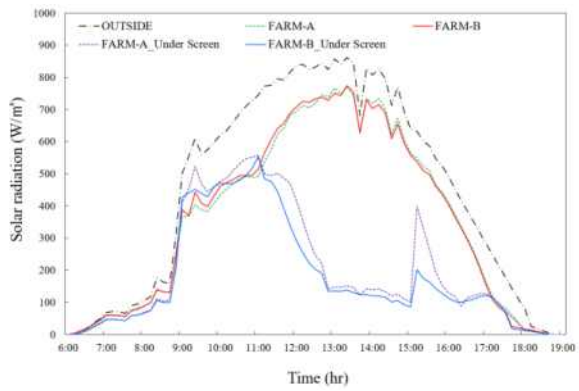
(a) 온실-A



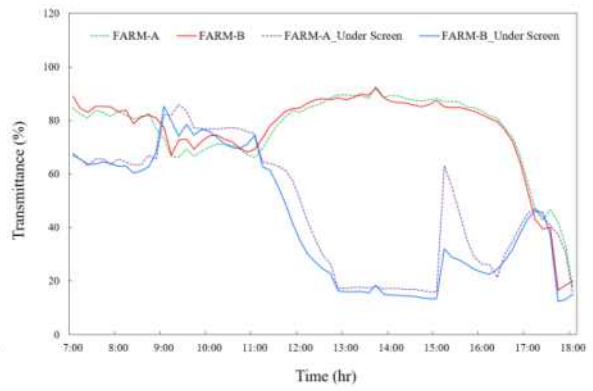
(b) 온실-B

[그림 2-49. 난방 및 무난방 실증온실의 내부온도 비교]

- 그림 2-50은 맑은 날 온실-1과 온실-2의 일사량 및 광투과율을 나타낸 것이다. 플라스틱필름 바로 아래에서의 최대 광투과율은 90% 정도였고, 두 층으로 설치된 스크린 아래에서의 광투과율은 15% 정도였다. 그림 2-50는 흐린 날의 일사량 및 광투과율을 나타낸 것이다. 흐린 날 플라스틱 필름 바로 아래에서의 최대 광투과율은 80% 정도로 맑은 날보다 낮았지만 스크린 아래에서의 광투과율은 60% 정도로 맑은 날보다 훨씬 높았으며, 이는 산란광의 경우 스크린을 투과하는 광량 뿐만 아니라 측면에서 투과하는 산란광의 양이 많은 부분을 차지하기 때문으로 판단된다.

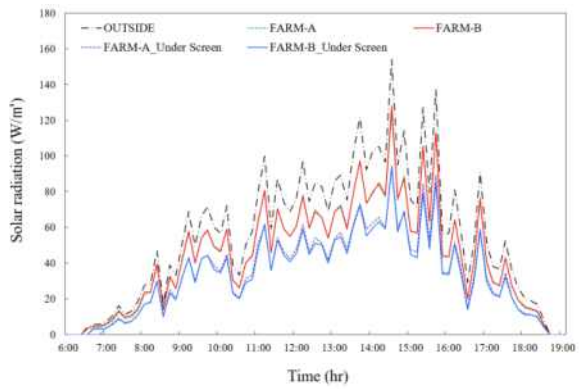


(a) 일사량

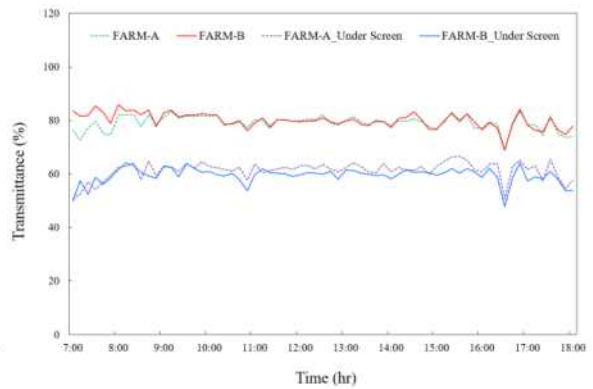


(b) 광투과율

[그림 2-63. 맑은 날 실증온실의 내외부 일사량 및 광투과율]



(a) 일사량

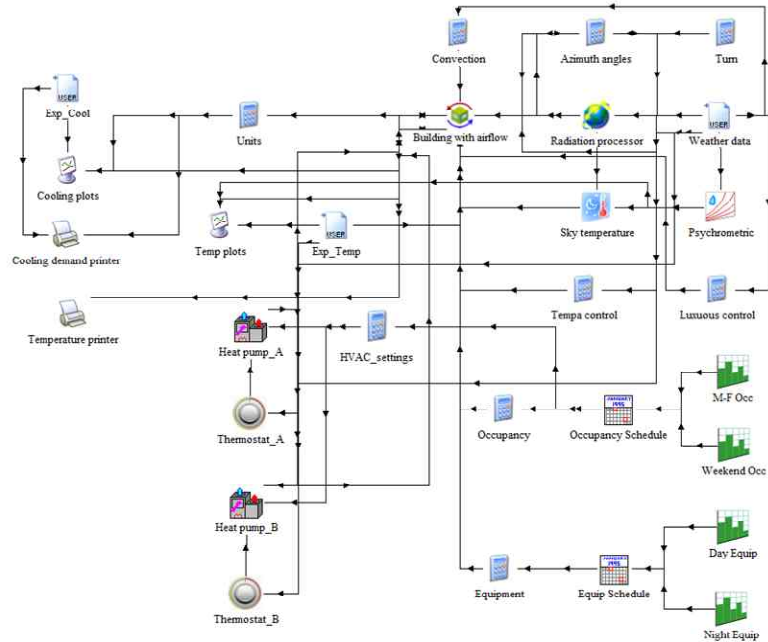


(b) 광투과율

[그림 2-50. 흐린 날 실증온실 내외부 일사량 및 광투과율]

• 실증용 온실의 에너지 시뮬레이션 모델링 및 검증

- 실험용 온실에 대한 에너지 시뮬레이션 결과를 바탕으로 태양열 및 지열 융복합 에너지를 이용한 실증온실에 대한 에너지 시뮬레이션 모델을 구축하고 검증하여 에너지 분석을 실시할 예정이다.
- 그림 2-51는 실증온실에 대한 에너지 시뮬레이션 모델이다. 현재까지 온실에 대한 에너지 시뮬레이션 모델을 구축하고 검증하였으며, 앞으로 에너지 공급시스템과 연계하여 시뮬레이션 모델을 개선해 나갈 예정이다.



[그림 2-51. 실증온실의 TRNSYS 시뮬레이션 모델]

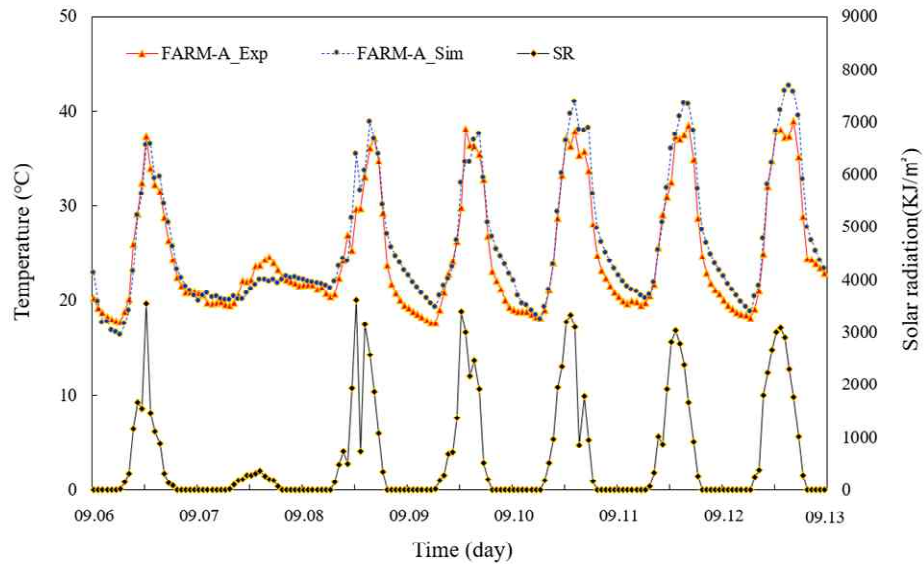
- ASHRAE Guideline I4-2014에 따르면 건물의 시뮬레이션 모델에 대한 검증은 두가지 지표 즉 정규화된 평균 편향 오류(Normalised Mean Biased Error, NMBE)와 평균 제곱근 오차의 변동 계수(Coefficient of Variation of the Root Mean Square Error, CVRMSE)를 사용한다. 기준에 따르면 시간별 시뮬레이션의 경우 NMBE와 CVRMSE는 각각 $\pm 10\%$ 와 $\pm 30\%$ 를 초과하지 않아야 한다.

$$NMBE = \frac{\frac{1}{N} \sum_i (y_i - \tilde{y}_i)}{\bar{y}} \times 100 \quad (1)$$

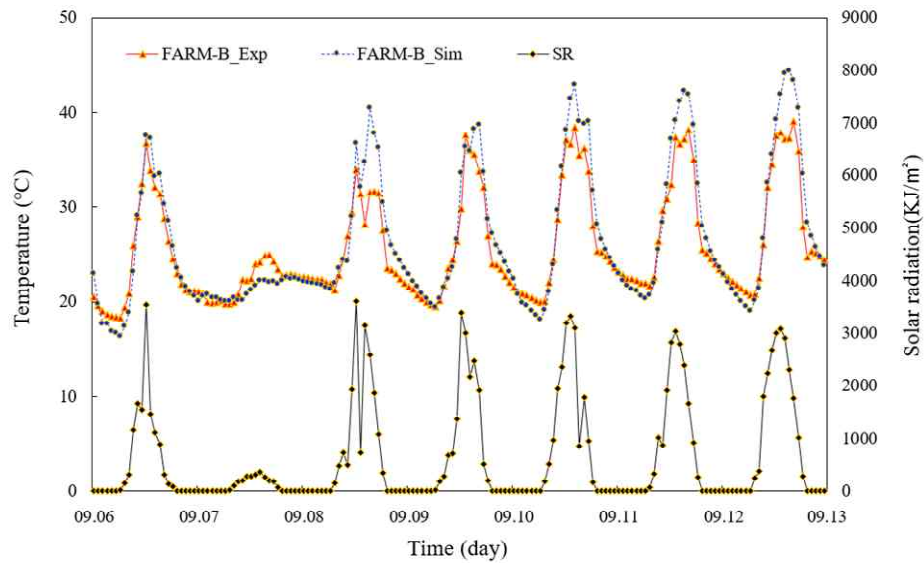
$$CVRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_i (y_i - \tilde{y}_i)^2}}{\bar{y}} \times 100 \quad (2)$$

여기서, N는 측정 데이터의 수, y_i 는 측정값, \tilde{y}_i 는 계산값, \bar{y} 는 y_i 의 평균값이다.

- 그림 2-52은 실증온실에 대한 에너지 시뮬레이션 모델을 검증하기 위하여 냉난방을 실시하지 않은 9월에 온실-A와 온실-B의 내부온도에 대한 측정값과 계산값을 비교한 것이다. 온실-A와 온실-B의 NMBE 값은 각각 -4.21% 와 -2.62% 로 나타났고, CVRMSE 값은 8.21% 와 8.76% 로 나타나 시뮬레이션 결과가 타당함을 보여주었다.



(a) 온실-A

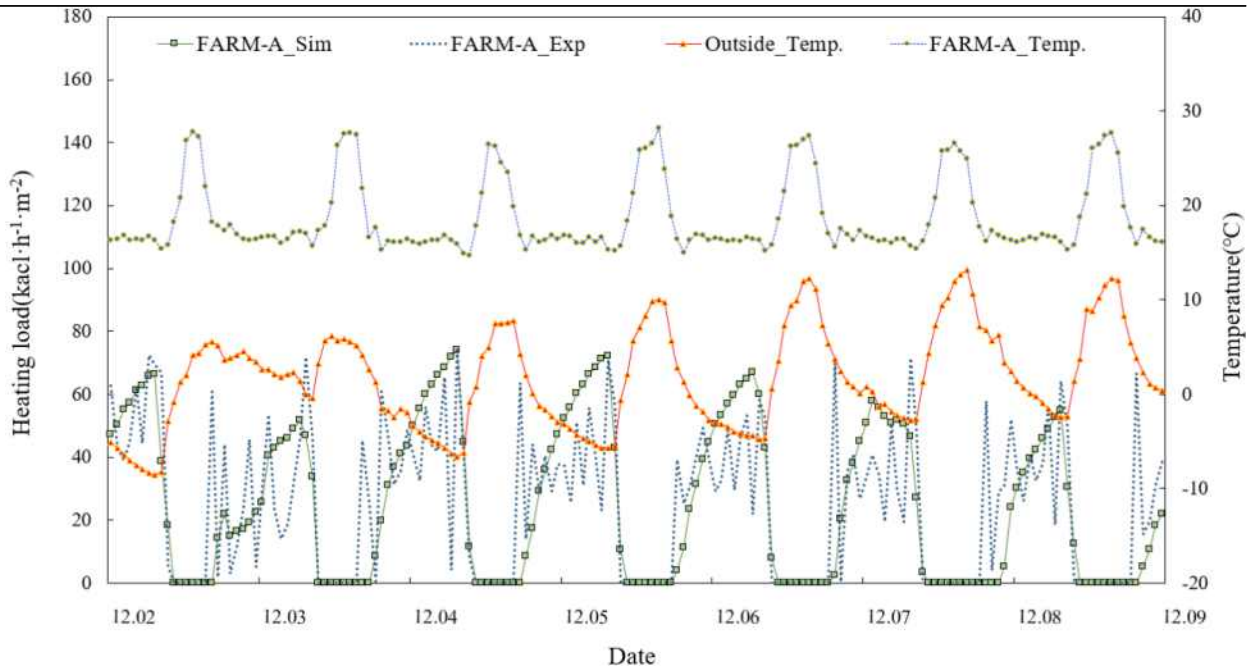


(b) 온실-B

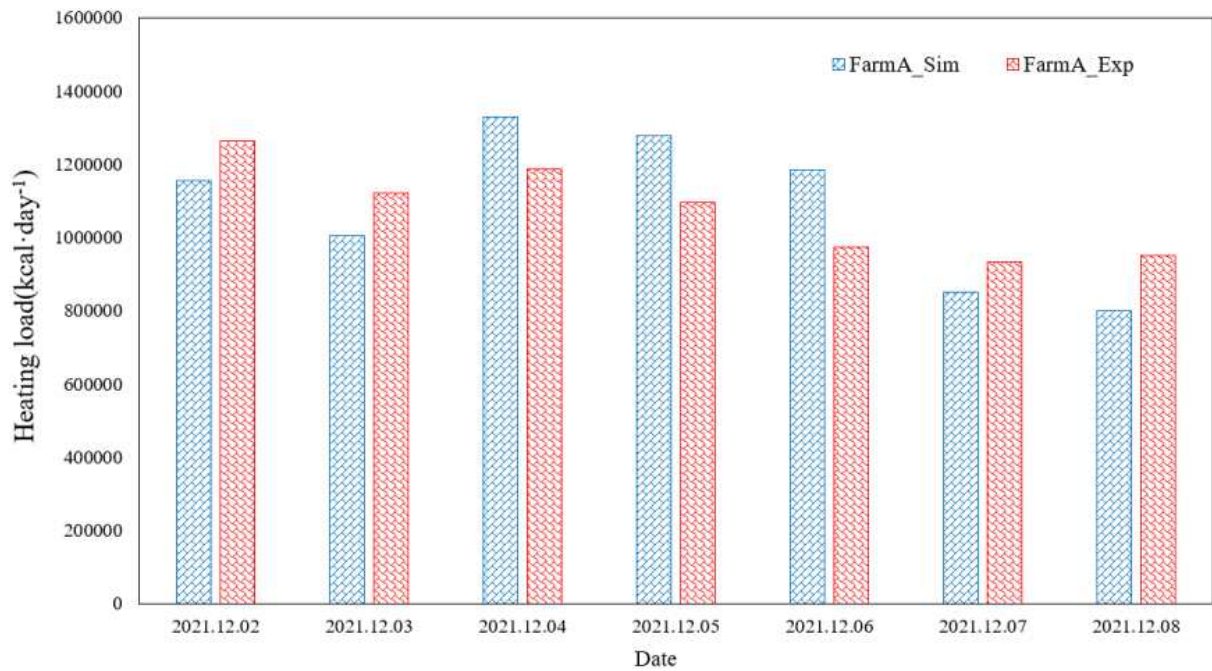
[그림 2-52. 실증온실 내부온도의 측정값과 계산값의 비교]

<푸르메 여주팜 실증대상 온실의 에너지 시뮬레이션 모델링 및 검증>

- 그림 2-53와 2-54은 실험기간 중 비교적 난방부하가 비교적 큰 12월에 온실 A의 난방부하에 대한 측정값과 계산값을 비교한 것이다. 온실 내부온도는 16°C 이상이 유지되도록 제어되었다. 그림 2-53는 단위면적당 시간별 난방부하량의 변화를 도시한 것이고, 그림 2-54는 일일 난방부하량을 도시한 것이다. 전반적으로 난방부하의 변화 경향이 실험값과 시뮬레이션 결과가 잘 일치하는 것으로 나타났다. 최대부하는 외부온도가 -6.5°C 일 때 약 75Kcal/hr·m² 정도로 나타났다. 일일 난방부하량의 실험값과 계산값의 차이는 최대 211,000 Kcal 정도로 나타났다.



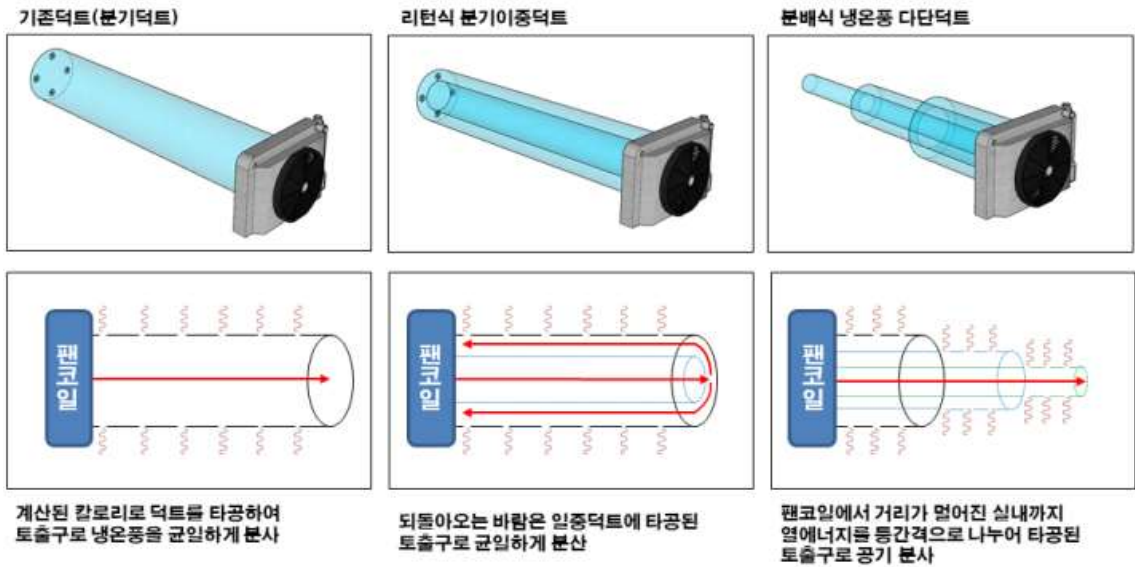
[그림 2-53. 온실 단위면적당 시간별 난방부하량 변화]



[그림 2-54. 일일 난방부하량 비교]

• 온실 내 냉난방 공조 시스템 보완요소 발굴 및 온실 적용 타당성 평가

- 냉방이 실시된 실증온실 내부온도의 수평분포 분석 결과 온실-B에서 길이방향으로 편차가 뚜렷하게 발생하였으며, 이는 팬코일 유닛에서 공급된 냉각공기가 덕트를 통해서 반대편 방향으로 흘러가는 과정에서 온도가 상승했기 때문인 것으로 분석되었다. 온실의 길이방향으로 온도가 균일하지 못한 문제점은 그림 2-55과 같이 현재 상용화가 되어있는 리턴식 분기이중덕트 혹은 분배식 냉온풍 다단덕트 방식을 도입하여 해결할 수 있을 것으로 판단된다.



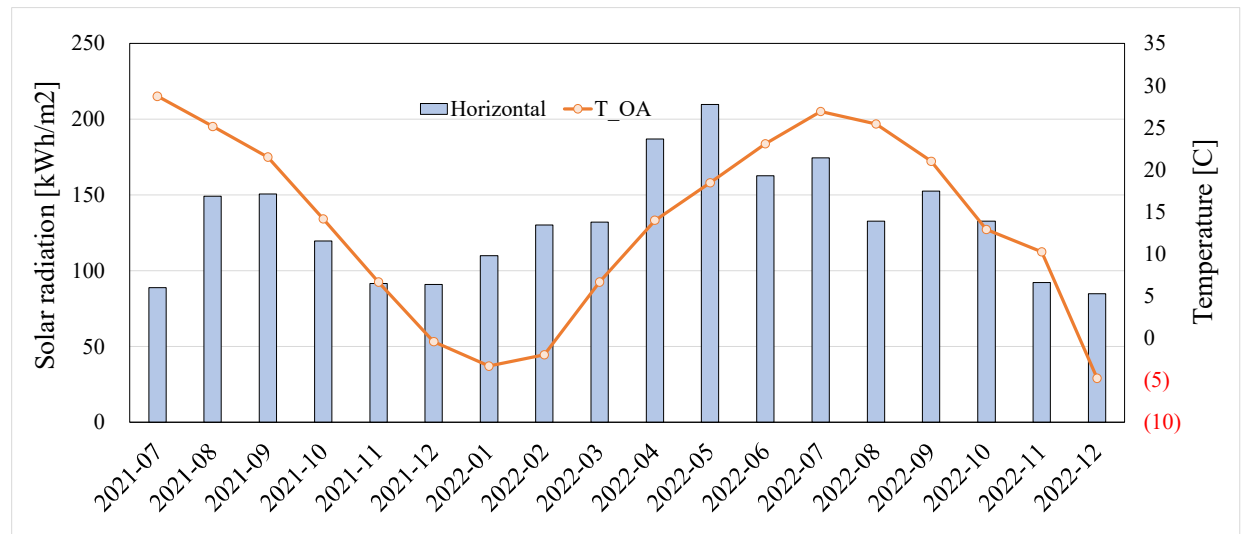
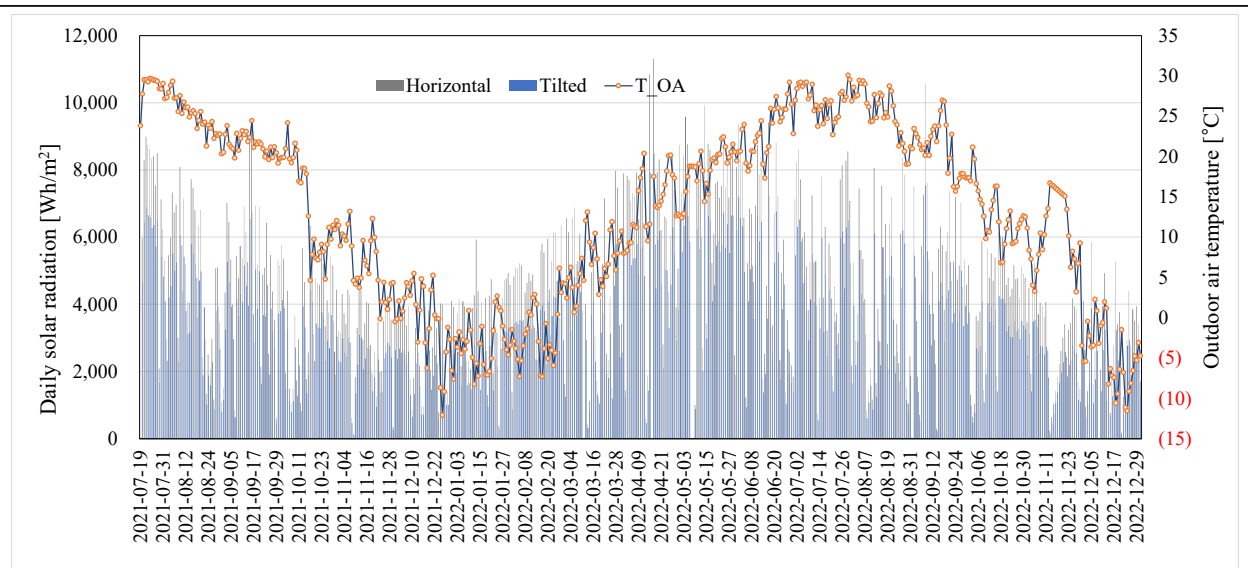
[그림 2-55. 냉온풍 덕트의 종류 예시]

- 야간에 온실의 난방온도가 매일 동일하게 일정한 값으로 유지되지 못해 안정적인 제어가 되지 못한 것으로 나타났다. 이는 난방용 공급열량이 야간의 난방부하를 충족하지 못하였거나 온도제어에 문제가 있기 때문으로 판단되며 이에 대한 검토와 보완이 필요할 것으로 판단된다.
- 주간에 온실 내부의 난방온도가 30°C 이상으로 무난방 조건에서의 온도보다 더 높게 나타나 불필요한 난방이 되었음을 보여주었다. 이러한 문제들은 주야간 난방온도를 적절하게 설정하여 해결할 필요가 있을 것으로 판단된다.

[3차년도]

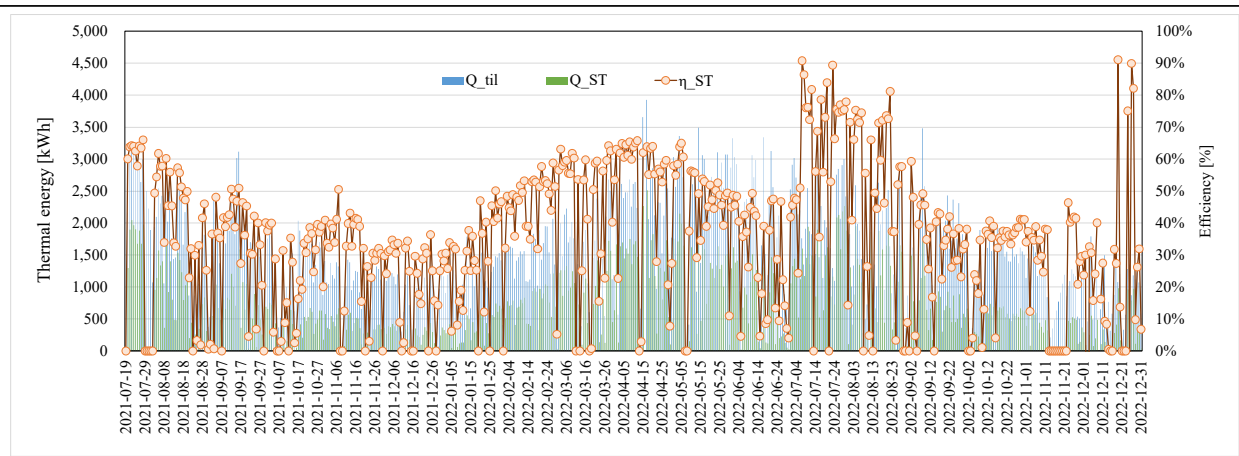
- **협동연구기관과 협력하여 실증운전 계속**

- 아래 그림에서는 분석 대상기간 실증단지의 일별 외기온도 및 일사량 그래프를 나타내었다. 실증단지의 일 평균외기온도는 14.7 °C 로 나타났으며, 일평균 최고외기온도는 30.1 °C로 나타났으며, 일평균 최저외기온도는 -12.1 °C를 보였다. 분석 대상기간동안 일평균 일사량은 수평면에서 4.7 kWh/m², 경사면에서는 3.5 kWh/m²를 나타내었으며, 최대 일평균 일사량은 수평면에서 11.3 kWh/m², 경사면에서 8.5 kWh/m²를 나타내었다. 월평균 일사량은 최대 210 kWh/m²에서 최저 88.9 kWh/m²를 나타내었다.



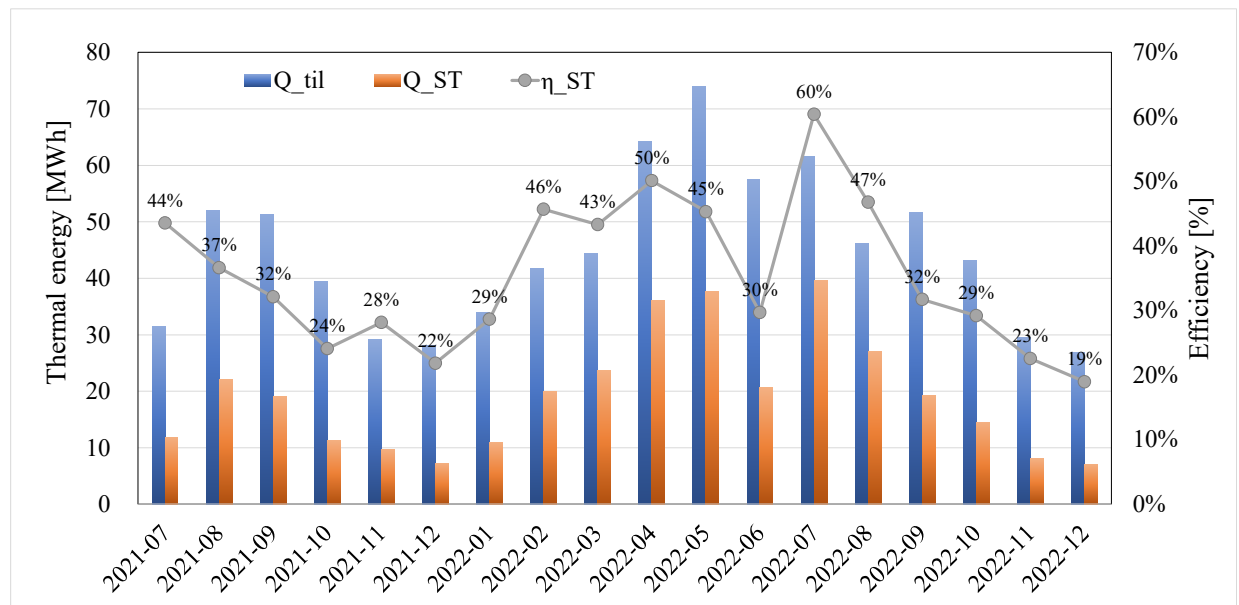
[그림 3-1. 분석기간 외기온도 및 일사량]

- 분석기간동안 일간 태양열 집열기의 집열량을 분석하면, 태양열 집열기에서 TTES로 축열되는 경우 집열 효율은 최대 66%를 나타내었다. 하지만, 계간축열조의 온도가 높아짐에 따라 집열효율은 낮아졌으며, 계간축열조의 온도가 60 °C를 이상 올라가더라도 최대 51%의 집열효율을 나타내었다.
- 난방 공급이 시작되기 직전인 2021년 10월 초 계간축열조의 평균온도는 최대 66 °C를 나타내었으며, 10월부터 계간축열조로부터 난방이 직접 공급되기 시작하였다. 월별 ST의 집열 효율을 보면, 월별 22%에서 최대 46%까지 보이는 것으로 나타났다. TTES의 온도가 올라가면서 ST의 효율이 낮아지다가, 2021년 10월부터 1월까지 TTES의 평균온도가 40 °C에서 10 °C까지 내려감에도 불구하고 효율이 30% 이하를 나타내었다. 이에, 겨울철 시운전 기간동안 전체 ST의 집열 효율은 36.6%를 나타내었다.



[그림 3-2. 분석기간 태양열 집열기 일사량, 집열량 및 집열 효율]

- 반면, TTES의 내부 평균온도가 70 °C 이상이된 2022년 7월부터 8월까지 BTES에 축열운전을 진행하였다. 그 결과, 태양열 집열기의 효율이 최대 91%까지 보이는 것으로 나타났다. 이는, BTES로 축열될 때, BTES의 온도가 (10~20) °C를 보여, 태양열 집열기의 열매체 입구온도가 낮을수록 높은 효율을 보이는 태양열 집열기의 특성을 나타낸 것으로 분석된다.
- 결과적으로 초기 TTES 저온(30~50) °C에서는 효율 60~70%, 이후 TTES 중온(50~60 °C)에서는 효율 40~50%, 초기 BTES 저온(10~20) °C에서는 효율 70~90%을 보이는 것을 확인할 수 있었다.
- 2021년 7월부터 2022년 12월까지 태양열 집열기의 누적 일사량은 806.3 MWh이며, 누적 집열량은 345.8 MWh를 나타내어, 총 누적 집열효율은 42.9%로 분석되었다.

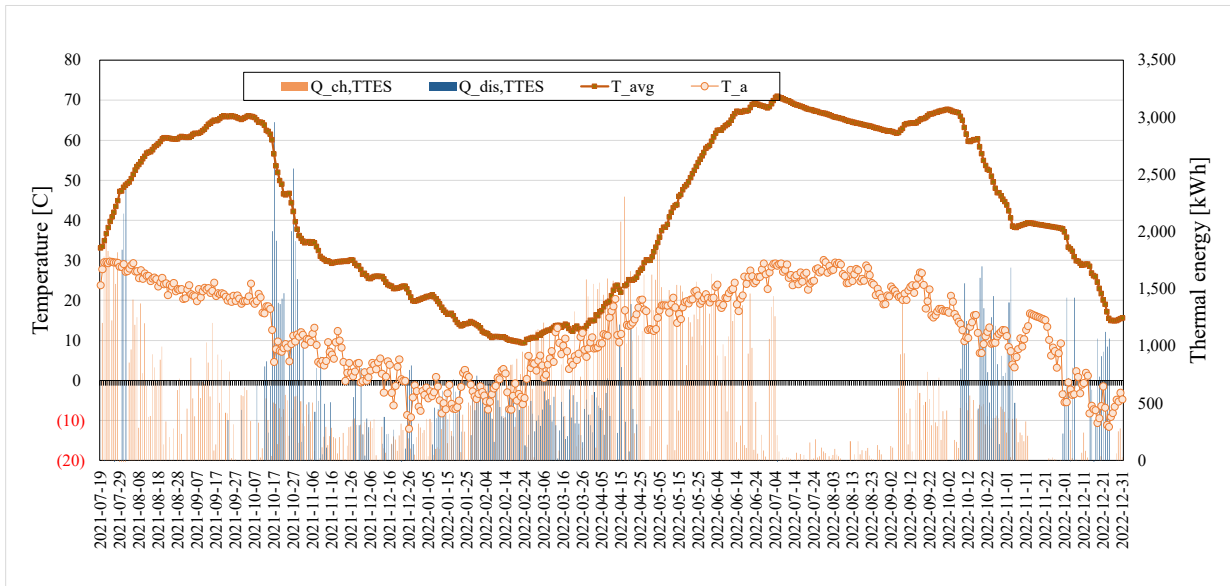


[그림 3-3. 분석기간 월별 태양열 집열기 일사량, 집열량 및 집열 효율]

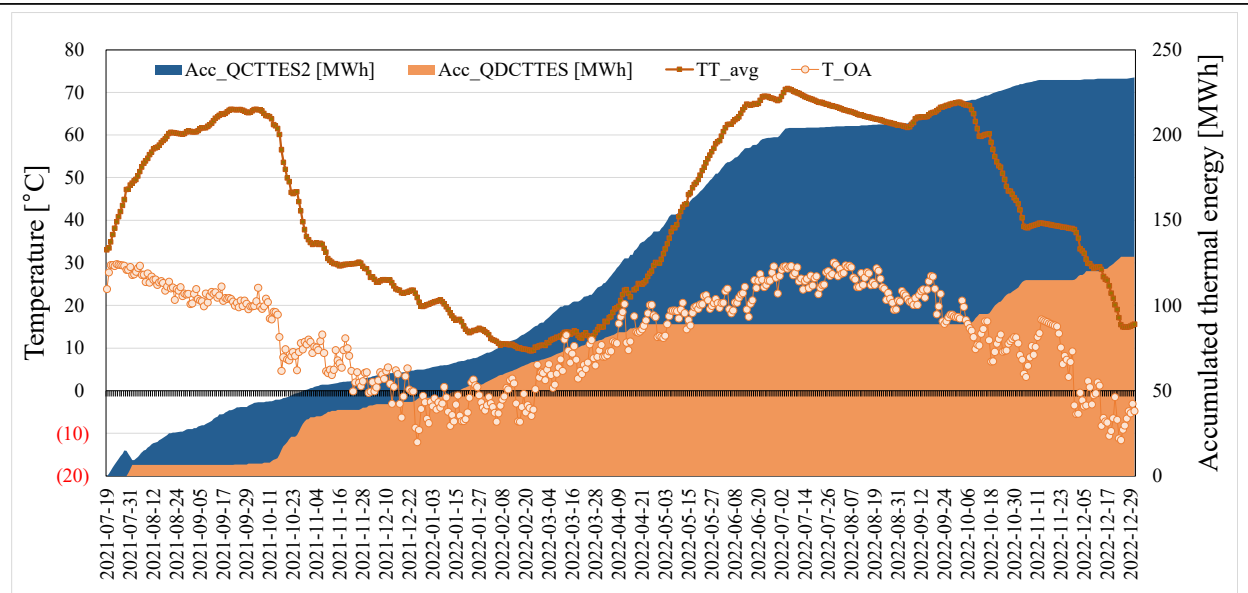
- 시운전 기간동안 TTES의 운영은 아래 그림과 같다. 2021년 7월 19일 TTES의 평균 온도는 33.1 °C였으며, 축열이 계속 진행되다가 TTES의 가장 높은 평균온도는 66.0 °C를 나타내었다. 이후 2021년 10월부터 난방이 공급되었으며, 2021년 10월 24일에는 46.7 °C를 나타내었다. 2021년 10월 중 본격적인 난방이 시작된 시점에서 1일 최대 난방부하는 2959.6 kWh를 나타내었다. 이후, 27일부터는 TTES 내부온도가 40 °C이하로 내려가면서, 직접 난방공급은 어려운 것을 확인할

수 있었다.

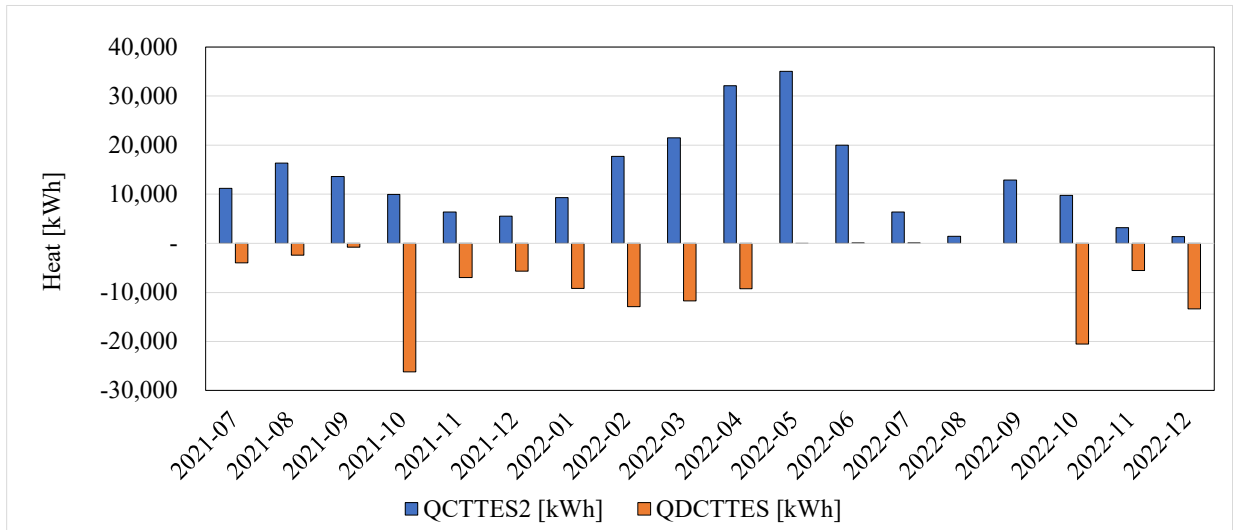
- 1차년도 연구를 통해, TTES의 운영 시뮬레이션을 통해 2021년 11월 1일부터 난방공급이 시작되고, 이때 TTES의 직접 열공급이 진행되어 2021년 11월 30일까지 직접 열공급이 가능할 것으로 예상하였으나, 실증을 통해 2021년 10월부터 야간시간에 실내온도 20 °C를 유지하기 위한 열공급이 진행되었음을 확인하였으며, 약 1달간의 난방공급 후 축열조 내부온도가 40 °C이하로 떨어져 직접난방공급이 어려움을 확인하였다.
- 1차년도 선행연구에서 시뮬레이션을 통해 TTES에서 직접 난방공급 열량을 49 MWh로 예상하였으나, 본 2021년 운전을 통해 총 34.9 MWh의 직접 공급이 진행되었음을 확인하였다.
- 이후, TTES를 열원으로하는 히트펌프 운전을 통해 TTES 내부온도는 2022년 3월 10 °C까지 내려갔으며, 2022년 4월부터 다시 TTES 축열운전을 진행하였다. 이후 2022년 6월까지 TTES의 내부온도가 70 °C까지 올라가는 것을 확인하였으며, 2022년 7월부터 8월까지 태양열 집열기는 BTES 축열운전모드로 진행되었다. 2022년 9월부터는 다시 TTES 내부 축열운전을 진행하여 내부온도를 70 °C까지 유지한 후, TTES를 이용한 직접난방공급을 진행하였다.
- 현재까지 축열조에서 축열된 열량과 방열된 열량의 비율로 축열효율을 산정할 때, 2022년 3월 TTES를 이용한 난방운전이 종료된 시점을 기준으로 분석하면, TTES에 축열된 누적량은 3141 MWh 이며, 누적 방열량은 2304 MWh로 나타났다. 이를 기준으로 분석하면, TTES의 축열효율은 73.4%를 보이는 것으로 나타났다.



[그림 3-4. 분석기간 TTES 계간축열조 축열 및 방열량 분석]



[그림 3-5. 분석기간 TTES 계간축열조 누적 축열량 및 방열량 분석]

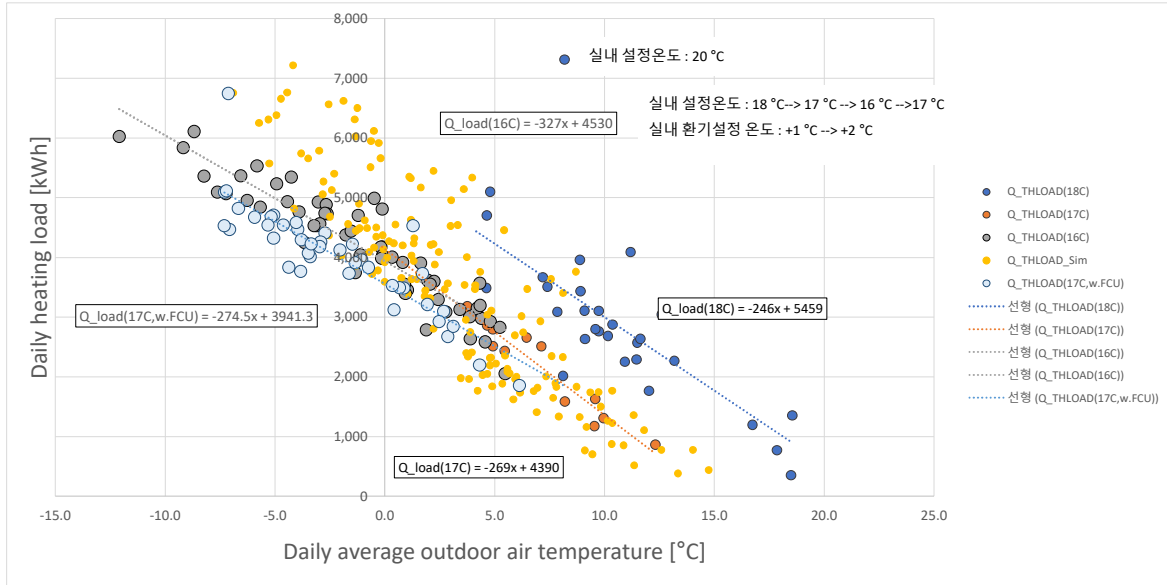


[그림 3-6. 분석기간 월별 TTES 계간축열조 축열량 및 방열량 분석]

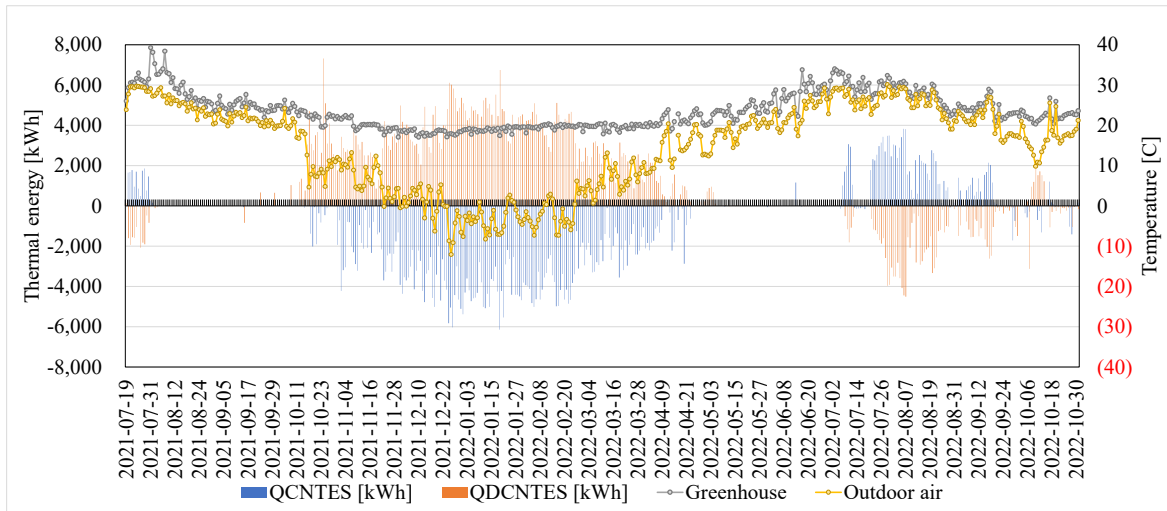
- 아래 그림에서는 실증 온실 내부설정온도와 외기온도에 따른 일간 난방부하를 나타내었다. 온실 내부설정온도는 난방기간동안 실내 최저 설정온도를 의미하며, 온실 내부온도가 설정온도 이하로 내려갈 경우 축열조에 저장된 열을 온실 내부로 공급하게 된다. 그림에서와 같이, 온실 내부에는 복사난방을 담당하는 튜브와 FCU가 있는데, 튜브만 동작하여 복사열로 실내 온도를 상승시킬 때와 튜브 및 FCU를 동시에 운전하여 실내온도를 상승시키는 경우에 대하여 비교 분석하였다. 또한, 튜브만 동작하였을 때 실내설정온도를 16 °C, 17 °C, 18 °C로 변동한 경우를 비교하였으며, 튜브 및 FCU가 동시에 동작한 경우는 실내온도를 17 °C로 유지하여 실험을 진행하였다. 튜브와 FCU는 모두 실내온도가 설정온도보다 1 °C가 높아지는 경우, 난방공급이 중단되도록 운영되었다.
- 그 결과, 튜브만 동작하였을 경우, 실내설정온도가 낮을수록 난방부하도 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. 특히 실내설정온도를 18°C 로 설정한 것 대비하여 17 °C로 낮추었을 경우, 약 1,000 kWh의 난방부하를 낮출 수 있는 것으로 확인되었다. 한편, 실내설정온도를 16 °C로 낮추는 경우에는 17°C로 설정한 것과 유사한 난방부하를 보이는 것을 확인할 수 있었다. 이는 실험 시 실내 설정온

도를 17 °C로 설정한 후 운전된 일평균 외기온도와 16 °C로 낮추어 운전된 일평균 외기온도가 겹치는 구간이 많지 않기 때문에, 추후 추가적인 연구가 필요하다.

- 반면, 튜브레이판 동작하여 실내난방이 진행되는 방식대비 튜브레이판과 FCU가 동시에 동작하여 운전되는 방식을 비교할 경우, 약 600 kWh의 일일 난방부하를 저감할 수 있는 것으로 나타났다. 이는, 실내온도를 설정온도로 상승시킬 때, 복사를 이용하는 방식대비 복사와 대류를 모두 이용하는 방식이 더 효과적으로 실내공기온도를 높일 수 있는 것으로 확인되었다.



[그림 3-7. 분석기간 온실 난방부하 분석]

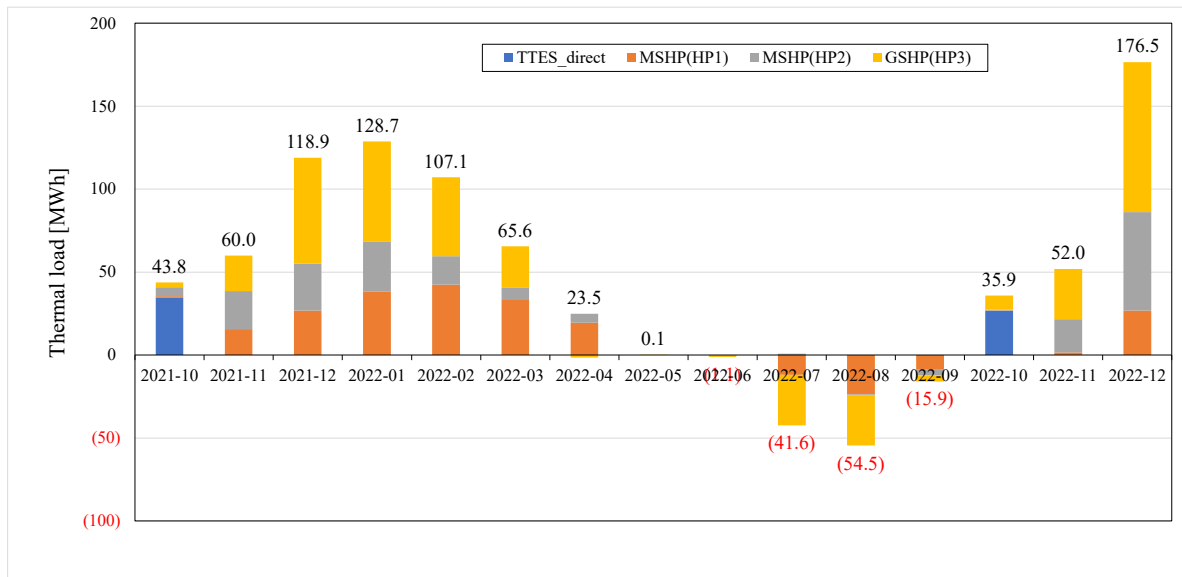


[그림 3-8. 분석기간 일간 온실 냉방 및 난방부하 분석]

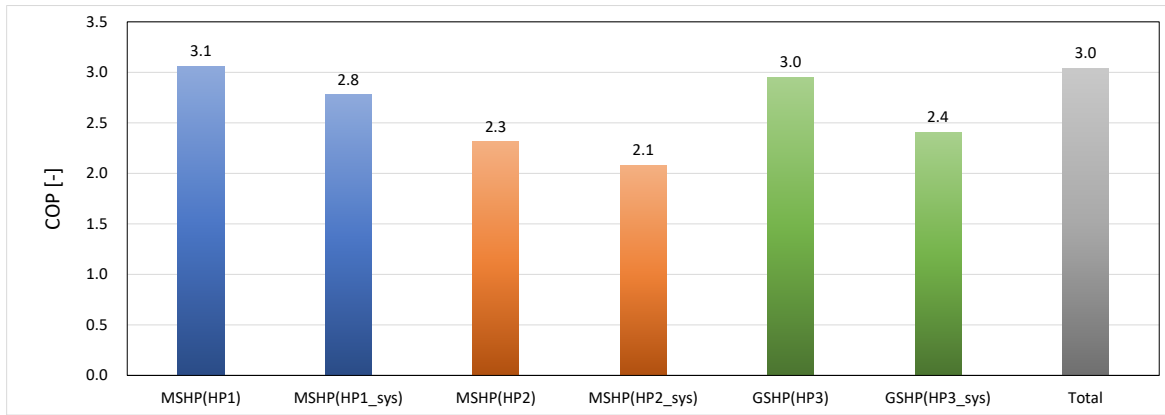
- 그림 3-9에서는 실증온실의 월별 총 난방부하와 제안된 시스템의 운영을 통해 각 시스템별 난방 공급량을 산정하였다. 그림 3-9에서와 같이, 2021년 10월 운영을 통해 34.9 MWh의 열을 TTES에서 직접 공급하였으며, 이후 각 히트펌프의 운전을 통해 열이 공급되었다. 2021년 11월과 12월에는 TTES의 온도가 가파르게 내려가, HP1의 운영을 수동으로 조절하였으며, 외기온도가 주로 0 °C이하인 시점에서 운영을 진행하였다. 2021년 10월부터 2022년 12월까지 운전결과를 살펴보면, 전체 난방부하 중 TTES에서 직접공급 direct supply 된 비율은 5%였으며, TTES의 열원으

로 난방공급이 진행된 양과 비율은 각각 75.1 MWh와 13%로 분석되었다. 또한, BTES 설치 후 114.5.0 MWh의 열을 공급할 수 있었으며, 총 부하의 20%를 담당하였다. 그리고 GSHP(HP3)은 195.3 MWh의 열을 공급하였으며, 전체 난방부하의 55%를 담당한 것으로 나타났다. 이에, 총 제안된 시스템의 난방분담율은 93%였으며, 보조열원은 43.0 MWh를 공급하여, 7%의 난방부하를 담당하는 것으로 분석되었다.

- 그림 3-10에서는 난방기간동안 히트펌프 운영을 통한 COP를 나타내었다. 그 결과, 히트펌프 COP는 MSHP(HP1)이 가장 높았으며, 시스템 COP또한 MSHP(HP1)이 HP2와 HP3에비해 각각 높았다. 이는 TTES의 열원온도가 지열원보다 높았던 것이 주요 원인으로 파악된다. 또한 시스템 COP 측면에서 HP1 및 HP2는 HP COP대비 0.2~0.3 포인트 내려간 것에 비해 HP3은 0.6 포인트가 하락하였다. 이는 HP3의 지열원의 깊이가 150 m이며, 이로 인해 펌프동력이 TTES 및 BTES 순환에 비해 많이 필요하였던 것이 주요 원인으로 파악된다. 결과적으로 본 제안된 시스템의 2022년 1년간 난방공급 운전을 통해 총 시스템 COP는 2.9를 보인 것으로 나타났다. 본 COP는 TTES의 직접공급량을 고려하고, 버퍼축열조 이용 시 히트펌프 및 펌프류, 그리고 태양열 집열기 순환펌프의 전력소비량도 모두 포함한 운전 결과를 나타낸 결과이다.
- 본 산정된 최종 공급난방부하와 전력소비량을 고려하였을 때, 일반적으로 농업분야에서 많이 사용되는 95% 효율의 전기히터를 사용할 경우, 난방기간동안 전력소비량이 558.5 MWh를 소비할 것으로 예측되며, 213.0 MWh를 소비한 제안된 시스템에서 PVT에서 발전될 48.0 MWh를 제외하면 165.0 MWh를 소비할 것으로 보인다. 제안된 시스템과 전기히터를 비교하면, 70.5%의 전력 소비량 절감효과를 보일 것으로 예측된다.

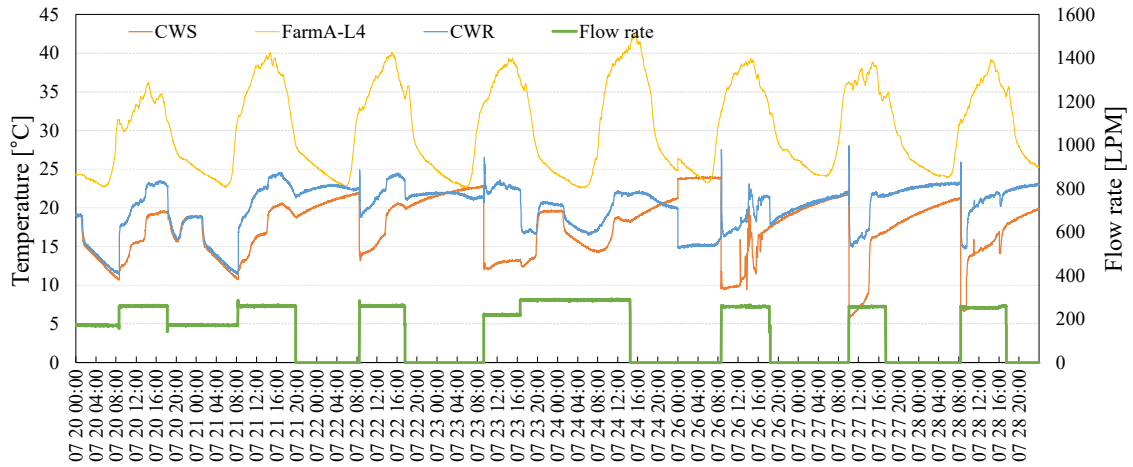


[그림 3-9. 난방기간 월간 시스템별 온열 생산량 분석]

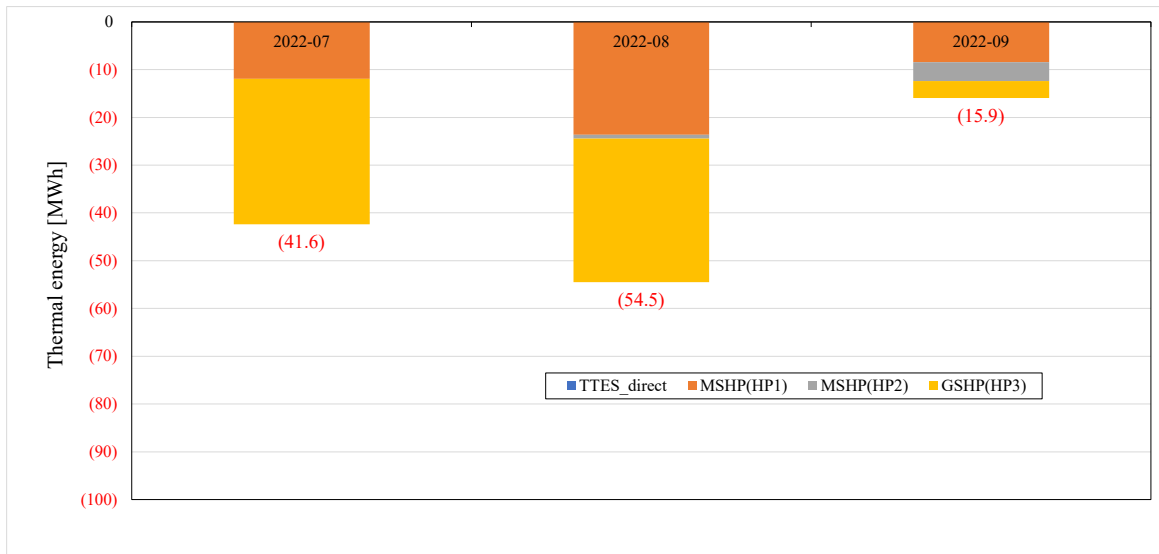


[그림 3-10. 난방기간 히트펌프 성능 분석]

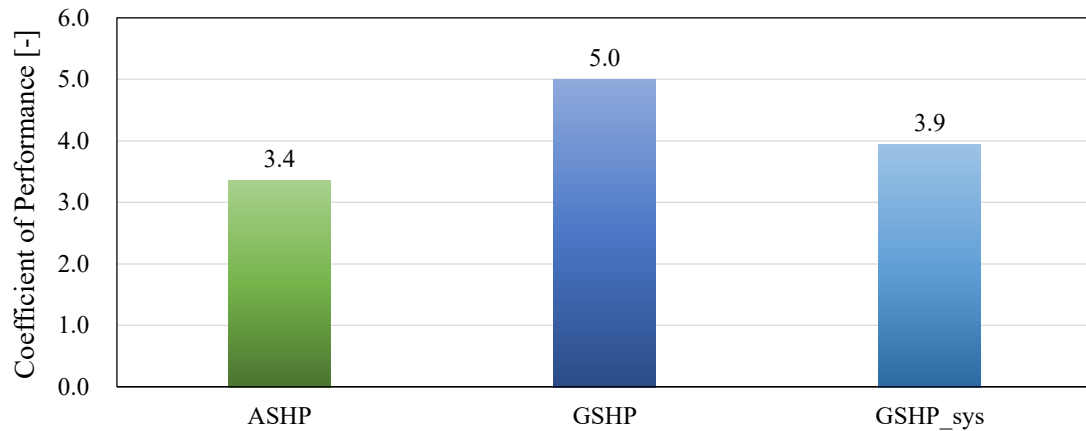
- 분석기간 중 2021년 7월의 냉방운전 결과를 분석하였다. 냉방운전 시, 낮은 온도의 냉수온도(예, 10°C 이하)로 온실에 직접 공급될 경우 작물에 냉해, 결로 발생으로 인한 곰팡이로 작물에 피해가 가는 문제가 발생할 여지가 있는 것으로 파악되었다. 따라서, 본 제안된 설비에서는 온실의 냉방 공급을 위한 냉수온도는 10-15 °C를 유지하도록 운영되었다 (그림 3-11). 그림 3-11에서는 냉방 기간동안 일평균 외기온도와 온실내부온도 및 daily cooling load를 나타내었다. 그 결과, 냉방공급이 이루어진 온실에서는 일평균 실내온도와 일평균 외기온도가 유사한 것을 확인할 수 있었다. 하지만, 냉방공급이 되지 않은 기간에서는 외기온도에 비해 10°C 이상 높은 일평균 실내온도를 나타내었다. 측정기간동안 냉방부하는 1,047 kWh/day에서 2,086 kWh/day를 나타내었다.
- 본 냉방운전 기간동안 히트펌프의 성능 COP를 나타내었다. 본 냉방운전에서는 BTES 열원 히트펌프가 공기식 히트펌프(ASHP)로 운영되었으며, 지열원 히트펌프(GSHP) 또한 운전되었다. 운영 결과, 그림 3-12와 같이, 공기식 히트펌프의 COP는 3.4를 나타내었으며 지열원 히트펌프는 5.0을 나타내었다. 반면, 지열원 히트펌프의 열원측 순환동력을 고려한 시스템 GSHP의 system COP에서는 3.9를 보이는 것으로 나타났다. 지열원 히트펌프 자체의 효율은 공기식에 비해 열원의 온도가 낮아 높은 효율을 나타내었으나, 지열원 히트펌프의 열원측 펌프 순환동력이 높아 시스템 COP는 공기식 히트펌프와 0.5가 차이가 났음을 확인하였다. 지열원 히트펌프의 운영기간동안 지열온도는 운전 시작 시 15°C를 나타내었으나, 점차 운영되면서 지열온도는 25°C를 나타내었고, 환수온도가 30°C를 나타내었다. 제안된 시스템에는 단기축열조가 있어, 낮시간 냉방을 위한 냉열생산을 주로 야간시간에 운영되었음을 고려하였을 때, 오히려 외기온도보다 높은 열원온도를 보인 때도 있었음을 알 수 있었다. 단기축열조 없이 낮시간 냉방부하를 담당하기 위해 낮시간에 공기식 히트펌프가 운전될 경우에는 30-38°C 에 이르는 높은 외기온도로 인해 COP가 더 낮게 운영될 것으로 판단된다 (그림 3-11).



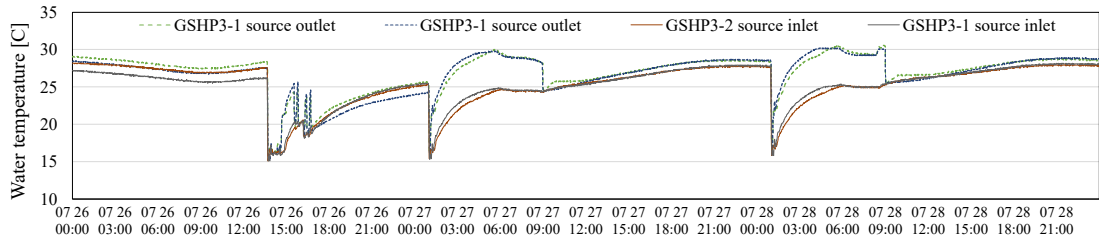
[그림 3-11. 냉방 분석기간 중 실내온도 및 냉열공급 온도 및 유량]



[그림 3-12. 월간 시스템별 냉열 생산량 분석]

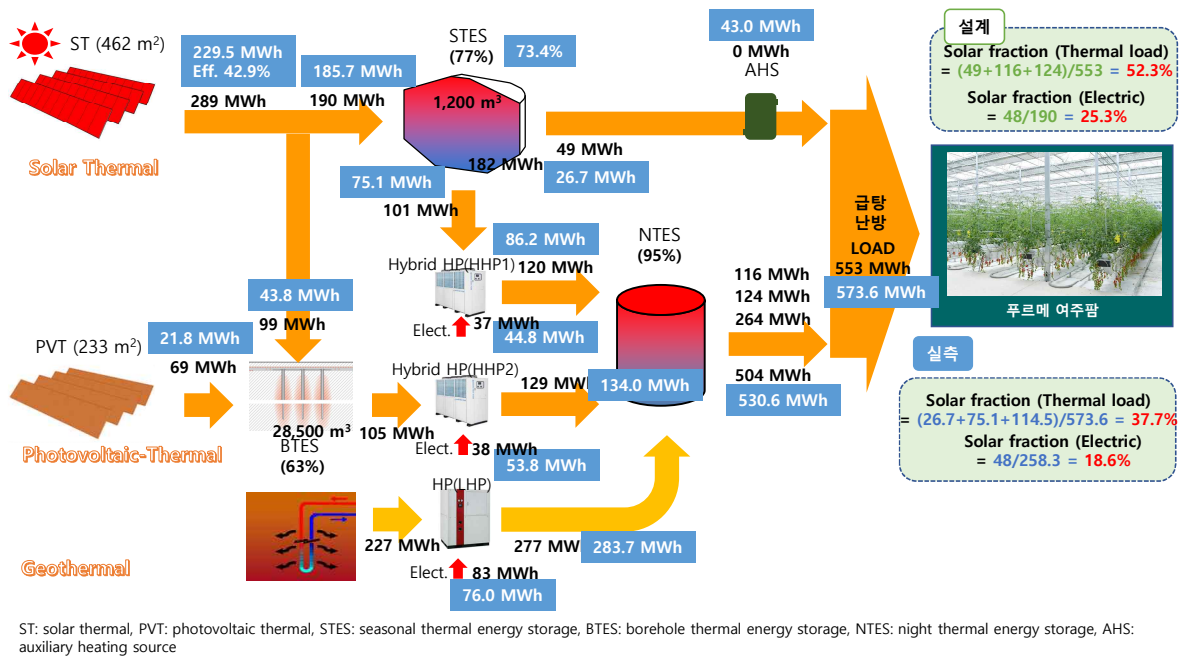


[그림 3-13. 냉방기간 히트펌프 성능 분석]



[그림 3-14. 냉방기간 지열원 히트펌프 열원 온도 분석]

- 전체 시스템 열공급 운전 결과는 아래 그림과 같다.



[그림 3-15. 분석기간 일간 온실 냉방 및 난방부하 분석]

• 분석데이터 주요지표 산출 계산근거

- 히트펌프 생산열량

1) HP1.1생산열량

$$= C_p \times \rho \times (TP9 - TP8) \times FP1 / 60,000$$

[Cp : 작동유체(물) 비열, ρ : 물 밀도, TP9 : HP1.1 부하측 출구온도, TP8 : HP1.1 부하측 입구온도, FP1 : HP1.1 부하측 순환유량]

2) HP1.2생산열량

$$= C_p \times \rho \times (HP1_A.IN1_SET1 - HP1_B.IN1_SET1) \times FP1 / 60,000$$

[HP1_A.IN1_SET1 : HP1.2 부하측 출구온도, HP1_B.IN1_SET1 : HP1.2 부하측 입구온도]

3) HP1.1생산열량(승온용)

$$= \text{HP1.1 열원측 공급열량}[C_p \times \rho \times (TH13 - TH2) \times FH1 / 60,000] \text{이 0보다 작고, HP1.1 생산열량이 0보다 클 경우 } C_p \times \rho \times (TP9 - TP8) \times FP1 / 60,000$$

[TH13 : HP1.1 열원측 출구온도, TH2 : HP1.1 열원측 입구온도, FH1 : HP1.1 열원측 순환유량]

4) HP1.2생산열량(승온용)

$$= \text{HP1.2 열원측 공급열량}[C_p \times \rho \times (\text{TH14} - \text{TH2}) \times \text{FH2} / 60,000] \text{이 0보다 작고, HP1.2 생산열량이 0보다 클 경우 } C_p \times \rho \times (\text{HP1_A.IN1_SET1} - \text{HP1_B.IN1_SET1}) \times \text{FP1} / 60,000$$

[TH14 : HP1.2 열원측 출구온도, FH2 : HP1.2 열원측 순환유량]

5) HP1.1생산열량(공기열)

$$= \text{HP1.1생산열량} - \text{HP1.1생산열량(승온용)}$$

6) HP1.2생산열량(공기열)

$$= \text{HP1.2생산열량} - \text{HP1.2생산열량(승온용)}$$

7) HP2.1생산열량

$$= C_p \times \rho \times (\text{TP5} - \text{TP3}) \times \text{FP2} / 60,000$$

[TP5 : HP2.1 부하측 출구온도, TP3 : HP2.1 부하측 입구온도, FP2 : HP2.1 부하측 순환유량]

8) HP2.2생산열량

$$= C_p \times \rho \times (\text{TP6} - \text{TP4}) \times \text{FP3} / 60,000$$

[TP6 : HP2.2 부하측 출구온도, TP4 : HP2.2 부하측 입구온도]

9) HP2.1생산열량(지열)

$$= \text{HP2.1 열원측 공급열량}[C_p \times \rho \times (\text{TH12} - \text{TH5}) \times \text{FH4} / 60,000] \text{이 0보다 작고, HP2.1 생산열량이 0보다 클 경우 } C_p \times \rho \times (\text{TP5} - \text{TP3}) \times \text{FP2} / 60,000$$

[TH12 : HP2.1 열원측 출구온도, TH5 : HP2 열원측 입구온도, FH4 : HP2.1 열원측 순환유량,

TP5 : HP2.1 부하측 출구온도, TP3 : HP2.1 부하측 입구온도, FP2 : HP2.1, HP3.1 부하측 순환유량]

10) HP2.2생산열량(지열)

$$= \text{HP2.2 열원측 공급열량}[C_p \times \rho \times (\text{TH11} - \text{TH5}) \times \text{FH3} / 60,000] \text{이 0보다 작고, HP2.2 생산열량이 0보다 클 경우 } C_p \times \rho \times (\text{TP6} - \text{TP4}) \times \text{FP3} / 60,000$$

[TH11 : HP2.2 부하측 출구온도, FH3 : HP2.2 열원측 순환유량, TP6 : HP2.2 열원측 출구온도,

TP4 : HP2.2 열원측 입구온도, FP3 : HP2.2, HP3.2 열원측 순환유량]

11) HP2.1생산열량(공기열)

$$= \text{HP2.1생산열량} - \text{HP2.1생산열량(지열)}$$

12) HP2.2생산열량(공기열)

$$= \text{HP2.2생산열량} - \text{HP2.2생산열량(지열)}$$

13) HP3.1생산열량

$$= C_p \times \rho \times (\text{TP3} - \text{HP3_A.C1_S_IN}) \times \text{FP2} / 60,000$$

[HP3_A.C1_S_IN : HP3.1 부하측 입구온도]

14) HP3.2생산열량

$$= C_p \times \rho \times (\text{TP4} - \text{HP3_B.C1_S_IN}) \times \text{FP3} / 60,000$$

[HP3_B.C1_S_IN : HP3.2 부하측 입구온도]

- 열부하

1) Farm A FCU공급량

$$= C_p \times \rho \times (\text{TF1} - \text{TF5}) \times \text{FF3} / 60,000$$

[TF1 : FCU배관 공급온도, TF5 : Farm A FCU배관 환수온도, FF3 : Farm A FCU배관 순환유량]

2) Farm B FCU공급량

$$= C_p \times \rho \times (TF1 - TF3) \times FF1 / 60,000$$

[TF3 : Farm B FCU배관 환수온도, FF1 : Farm B FCU배관 순환유량]

3) Farm A Tube공급량

$$= C_p \times \rho \times (TF2 - TF6) \times FF4 / 60,000$$

[TF2 : Tube배관 공급온도, TF6 : Farm A Tube배관 환수온도, FF4 : Farm A Tube배관 순환유량]

4) Farm B Tube공급량

$$= C_p \times \rho \times (TF2 - TF4) \times FF2 / 60,000$$

[TF4 : Farm B Tube배관 환수온도, FF2 : Farm B Tube배관 순환유량]

- 태양열 열공급량

1) TTES열공급량

$$= C_p \times \rho \times (TM2 - TM3) \times FM1 / 60,000 \text{ 이 0보다 클 경우}$$

$$C_p \times \rho \times (TM2 - TM3) \times FM1 / 60,000$$

[TM2 : TTES 공급온도, TM3 : TTES 환수온도]

- PV발전량

1) PV발전량

$$= \text{SUN.BATT_KW} / 1,000$$

- BTES 축열량

1) BTES축열량(태양열)

$$= C_p \times \rho \times (TB3 - TB4) \times FB2 / 60,000$$

[TB3 : 태양열버퍼축열조 공급온도, TB4 : 태양열버퍼축열조 환수온도, FB2 : 태양열버퍼축열조 순환유량]

2) BTES축열량(PVT)

$$= C_p \times \rho \times (TB1 - TB2) \times FB1 / 60,000$$

[TB1 : PVT버퍼축열조 공급온도, TB2 : PVT버퍼축열조 환수온도, FB1 : PVT버퍼축열조 순환유량]

- 히트펌프 전력소비량

1) HP1.1전력소비량

$$= \text{HP1_A.KW가 1보다 클 경우 HP1_A.KW}$$

2) HP1.2전력소비량

$$= \text{HP1_B.KW가 1보다 클 경우 HP1_B.KW}$$

3) HP1.1전력소비량(승온용)

$$= \text{HP1.1 열원측 공급열량}[C_p \times \rho \times (TH13 - TH2) \times FH1 / 60,000] \text{이 0보다 작고}$$

$$\text{HP1_A.KW가 1보다 클 경우 HP1_A.KW}$$

4) HP1.2전력소비량

$$= \text{HP1_B.KW가 1보다 클 경우 HP1_B.KW}$$

-
- 5) HP1.2전력소비량(승온용)
 - = HP1.2 열원측 공급열량 $[C_p \times \rho \times (TH_{14} - TH_2) \times FH_2 / 60,000]$ 이 0보다 작고 HP1_B.KW가 1보다 클 경우 HP1_B.KW
 - 6) HP1.1전력소비량(공기열)
 - = HP1.1전력소비량 - HP1.1전력소비량(승온용)
 - 7) HP1.2전력소비량(공기열)
 - = HP1.2전력소비량 - HP1.2전력소비량(승온용)
 - 8) HP2.1전력소비량
 - = HP2_A.KW가 1보다 클 경우 HP2_A.KW
 - 9) HP2.2전력소비량
 - = HP2_B.KW가 1보다 클 경우 HP2_B.KW
 - 10) HP2.1전력소비량(지열)
 - = P06 이 0보다 크고, HP2.1 열원측 공급열량 $[C_p \times \rho \times (TH_{12} - TH_5) \times FH_4 / 60,000]$ 이 0보다 작고, HP2_A.KW가 1보다 클 경우 HP2_A.KW
 - 11) HP2.2전력소비량(지열)
 - = P06이 0보다 크고, HP2.2 열원측 공급열량 $[C_p \times \rho \times (TH_{11} - TH_5) \times FH_3 / 60,000]$ 이 0보다 작고, HP2_B.KW가 1보다 클 경우 HP2_B.KW
 - 12) HP2.1전력소비량(공기열)
 - = HP2.1전력소비량 - HP2.1전력소비량(지열)
 - 13) HP2.2전력소비량(공기열)
 - = HP2.2전력소비량 - HP2.2전력소비량(지열)
 - 14) HP3.1전력소비량
 - = HP3_A.KW가 1보다 클 경우 HP3_A.KW
 - 15) HP3.2전력소비량
 - = HP3_B.KW가 1보다 클 경우 HP3_B.KW

- 히트펌프 순환펌프 전력소비량

- 1) 태양열순환펌프 P01 전력소비량
 - = P01.KW가 1보다 클 경우 P01.KW / 1,000
- 2) 태양열순환펌프 P02 전력소비량
 - = P02_A.KW이 1보다 클 경우 P02_A.KW / 1,000 + P02_B.KW가 1보다 클 경우 P02_B.KW / 1,000

[P02_A.KW : P02 A펌프 전력소비량, P02_B.KW : P02 B펌프 전력소비량]
- 3) HP1 열원순환펌프 P08 전력소비량
 - = P08_A.KW가 1보다 클 경우 P08_A.KW / 1,000 + P08_B.KW가 1보다 클 경우 P08_B.KW / 1,000

[P08_A.KW : P08 A펌프 전력소비량, P08_B.KW : P08 B펌프 전력소비량]

-
- 4) HP1 부하순환펌프 P12 전력소비량

$$= P12_A.KW가\ 1보다\ 클\ 경우\ P12_A.KW / 1,000 + P12_B.KW이\ 1보다\ 클\ 경우\ P12_B.KW / 1,000$$

[P12_A.KW : P12 A펌프 전력소비량, P12_B.KW : P12 B펌프 전력소비량]

5) HP1 TTES방열순환펌프 P07 전력소비량

$$= [HP1.1\ 열원측\ 공급열량\{Cp \times \rho \times (TH13 - TH2) \times FH1 / 60,000\}이\ 0보다\ 작고\ P08\ 전력\ 소비량이\ 0보다\ 클\ 경우] 또는 [HP1.2\ 열원측\ 공급열량\{Cp \times \rho \times (TH14 - TH2) \times FH2 / 60,000\}이\ 0보다\ 작고\ P08\ 전력소비량이\ 0보다\ 클\ 경우]인\ 경우\ [P07_A.KW이\ 1\ 보다\ 크면\ P07_A.KW / 1,000 + P07_B.KW이\ 1보다\ 크면\ P07_B.KW / 1,000]$$

6) HP2 열원순환펌프 P06 전력소비량

$$= P06_A.KW가\ 1보다\ 클\ 경우\ P06_A.KW / 1,000 + P06_B.KW가\ 1보다\ 클\ 경우\ P06_B.KW / 1,000$$

[P06_A.KW : P06 A펌프 전력소비량, P06_B.KW : P06 B펌프 전력소비량]

7) HP2,3 부하순환펌프 P11 전력소비량

$$= P11_A.KW가\ 1보다\ 클\ 경우\ P11_A.KW / 1,000 + P11_B.KW가\ 1보다\ 클\ 경우\ P11_B.KW / 1,000$$

[P11_A.KW : P11 A펌프 전력소비량, P11_B.KW : P11 B펌프 전력소비량]

- 열공급 순환펌프 전력소비량

1) 부하측 열공급 순환펌프 P13 전력소비량

$$= P13.KW이\ 1보다\ 클\ 경우\ P13.KW / 1,000$$

- COP 계산식

1) 신재생HP COP

$$= [HP1생산열량(승온용) + HP2생산열량(지열) + HP3 생산열량] / (HP1,2,3 전력소비량)$$

2) 공기열HP COP

$$= [HP1생산열량(공기열) + HP2생산열량(공기열)] / [HP1전력소비량(공기열) + HP2전력소비량(공기열)]$$

3) 시스템 COP

$$= (HP1생산열량 + HP2생산열량 + HP3생산열량) / [HP1전력소비량 + HP2전력소비량 + HP3전력소비량 + 히트펌프 순환펌프 전력소비량\{P08,P12,P07(승온용),P06,P11,P10-1,P10-2\}]$$

• 실증운전 데이터 분석을 통한 통합에너지 시스템 개선 요소 발굴 및 개선(hardware 포함)

- 급격한 난방부하변동 대비 전기보일러 증설공사를 진행하였다. 기존 150 kW 전기보일러는 보조 열원으로 가동하였으나 급격한 난방부하변동 및 통합에너지 시스템 백업을 위해 용량증설이 필요하여, 전기보일러 용량을 500 kW로 증설하였다. 이에 따른 수전설비도 500 kW에서 기존 수전설비의 여유용량을 고려하여 700 kW로 증설하였다.



[그림 3-16. 전기보일러 증설공사 사진]

- 작물 생육촉진을 위한 LED 전등 활용 설비 구축을 진행하였는데, PVT에서 생산되는 전기를 활용하여 LED 전등에 전력을 공급함에 따른 작물 생육촉진 및 생산성 향상을 기대할 수 있다.
- 또한, 온실 내 배관파손등으로 인해 난방열 공급이 되지 않는 상황을 대비하여 온실 내 LED 전등이 활용되며, 작물 생육 촉진뿐만아니라 난방공급이 되지 않는 위급상황에서 실내 온도를 일부 올릴 수 있을것으로 기대할 수 있다

• 통합에너지 시스템의 제어로직 보완 및 제어 시스템 반영

- 태양열시스템의 운영을 통한 TTES 및 BTES 에너지 저장 제어로직 보완 및 제어 시스템 반영 완료하였다. TTES 및 BTES 에너지 저장을 위한 밸브 제어로직 보완 및 제어 시스템 반영을 아래와 같이 Mode 별로 운전조건을 나누어 진행하여 보완을 진행하였다.

지중축열제어

• ST, PVT 축열 운전 모드

[난방모드] - 히트펌프 기준

- (Mode 1) HP2 난방열원 운전 ON
 - 기존 HP2 운전 신호 시 ON (수열원 축열)
- (Mode 2) ST TTES 축열운전 ON
 - P02 가동시
- (Mode 3) ST BTES 내부 지중 축열운전 OFF
 - 상시 OFF
- (Mode 4) PVT BTES 내부 지중 축열운전 ON
 - HP2 난방열원 운전 OFF 시 mode 4 ON
 - (TST4 > Tst2h) AND (HP2-1 AND 2-2) OFF 이면(mode 1 off & TST4OK) Mode 4 ON
 - * VB2 close, TV7 open(↑), TV9 close(→) + time lag 후 P09-2 ON
 - (TST4 ≤ Tst2h - DTst2) AND (HP2-1 AND 2-2) OFF 이면 PVT BTES 내부 지중 축열운전 OFF
 - * P09-2 OFF + time lag + VB2 open, TV7 close(↓), TV9 open(↓)
 - ** PVT BTES 내부 지중 축열운전 ON 중 HP2-1 or HP2-2 ON 이면 (P06, P09-1, P09-2 모두 멈추고), PVT BTES 외부 지중 축열 운전 모드(VB2 open, TV7 close(↑), TV9 open(↓))로 밸브 변경
 - *** 밸브 기본 위치 : VB2 open, TV7 close(↓), TV9 open(↓)
- (Mode 5) PVT BTES 외부 지중 축열운전 ON
 - HP2 난방열원 운전 ON 시 외부 지중 축열운전 ON
 - (TST4 > Tst2h) AND (HP2-1 or 2-2) ON 이면 PVT BTES 외부 지중 축열운전 ON
 - * VB2 open, TV7 close(↓), TV9 open(↓) + time lag 후 P09-1 ON
 - (TST4 ≤ Tst2h - DTst2) AND (HP2-1 or 2-2) ON 이면 PVT BTES 내부 지중 축열운전 OFF
 - * VB2 open, TV7 close(↓), TV9 open(↓) (밸브 운전 동일) P09-1 OFF

HP2 난방 열원 운전	ST TTES 축열운전	ST BTES 내부 지중 축열운전	PVT BTES 내부 지중 축열운전	PVT BTES 외부 지중 축열운전
Tst1h	40 °C	지중축열 개시 STTS_s1 상단 온도		
Tst2h	40 °C	지중축열 개시 STTS_s2 상단 온도		
DTst1	10 °C	STTS_s1 지중축열 종료 온도차		
DTst2	10 °C	STTS_s2 지중축열 종료 온도차		
Tfz	25 °C	HP2 공기열축열 정지 외기온도		
tilaghp	1분	히트펌프 관련 Time Lag		

기본	밸브	Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 4		Mode 5
					On	Off	
F/C	VB1	F/C		F/O	F/C	F/C	F/C
F/O	VB2	X		F/O	F/C	F/O	F/O
Open	TV4	Open		Open			
F/C	TV7	F/C		F/C	F/O	F/C	F/C
F/O	TV8	F/O		F/C	F/O	F/O	F/O
F/O	TV9	F/O		F/O	F/C	F/O	F/O

* F/C = full close, F/O = full open

[그림 3-17. 난방기간 태양열 및 PVT 집열 모드 전환 조건 변경]

ST, PVT 축열 운전 모드

[냉방모드] - 히트펌프 기준

- HP2 난방열원 운전 OFF
 - 상시 OFF
- ST TTES 축열운전 ON
 - P02 ON 이면, ST TTES 축열운전 ON
- ST BTES 내부 지중 축열운전 ON
 - P03 ON 이면, ST BTES 내부 지중 축열운전 ON
 - TST1 > Tst1h 이면, PVT BTES 외부 지중축열 밸브 전환, ST BTES 내부 지중축열 밸브 전환 후 P06 ON
 - ✓ PVT 외부 지중축열 밸브 전환: VB2 open, TV7 close(↑), TV9 open(↓)
 - ✓ ST 내부 지중축열 밸브 전환: VB1 open, TV8 close(-), TV4 open(↓), TV9 open(↓), TV7 close(↑)
 - ✓ TST1 > Tst1h 이면 P06 ON, TST1 ≤ Tst1h - DTst1 이면 P06 OFF
- PVT BTES 내부 지중 축열운전 ON
 - P02 ON 이면, PVT BTES 내부 지중 축열운전 ON
 - (TST4 > Tst2h) 이면 PVT BTES 내부 지중 축열운전 ON
 - * VB2 close, TV7 open(↑), TV9 close(-) + time lag 후 P09-2 ON
 - (TST4 ≤ Tst2h - DTst2) 이면 PVT BTES 내부 지중 축열운전 OFF
 - * P09-2 OFF + time lag + VB2 open, TV7 close(↑), TV9 open(↓)
 - ** 밸브 기본 위치 : VB2 open, TV7 close(↑), TV9 open(↓)
- PVT BTES 외부 지중 축열운전 ON
 - P03 ON 이면, PVT BTES 외부 지중 축열운전 ON
 - (TST4 > Tst2h) 이면 PVT BTES 외부 지중 축열운전 ON
 - * VB2 open, TV7 close(↑), TV9 open(↓) + time lag 후 P09-1 ON
 - (TST4 ≤ Tst2h - DTst2) 이면 PVT BTES 내부 지중 축열운전 OFF
 - * VB2 open, TV7 close(↑), TV9 open(↓) (밸브 운전 동일) P09-1 OFF

[그림 3-18. 냉방기간 태양열 및 PVT 집열 모드 전환 조건 변경]

히트펌프 전체 자동모드로 변경 히트펌프 전체 수동모드 & 정지로 변경 (냉난방 공급 정지)

전체 HP자동 전체 HP 수동 및 냉난방 공급 정지

<개요>

- 히트펌프 HP1, HP2, HP3 야간 운전 (경부하시간대 동안 운전)
 - 정해진 경부하시간대가 시작되면(23시) HP 시스템 운전
 - 정해진 경부하시간대가 종료되면(09시) HP 시스템 정지
 - ❖ HP 시스템: 히트펌프(HP1.1, HP1.2, HP2.1, HP2.2, HP3.1, HP3.2) 전부를 의미함
- 히트펌프 HP1, HP2, HP3 주간 운전 (온도조건에 따라 일정 시간 동안 운전)
 - 난방운전 & P13 ON & TV10 close(↑) 일 때, TM7 < Tshmin이면 HP 시스템 ON 운전
 - 냉방운전 & P13 ON 일 때, TM7 > Tscmax이면 HP 시스템 ON 운전
 - 주간 HP 시스템 운전 후 HPoptime 경과하면 HP 시스템 정지 (예: 1 시간)
- 히트펌프 HP1, HP2, HP3 운전/정지 및 이 때의 펌프 운전
 - 동작 조건(경부하시간대, 주간 온도조건)에서는 전체 히트펌프가 운전하지만, 운전 중 히트펌프 입구 온도 조건에 따라 각 개별 히트펌프가 정지할 수 있음
 - 즉, 운전 중 히트펌프 입구 온도 조건에 따른 정지는 히트펌프 전체가 아니라 개별 히트펌프에 적용
 - 단 경부하시간대 종료 및 주간 온도조건에 따른 HPoptime 후 정지 시는 전체 히트펌프가 정지
 - 운전(ON) 조건이 되면: HP1의 경우 P12 ON 다음 tilaghp분 동안의 time lag 후 HP1 ON
HP2와 HP3의 경우 P11 ON 다음 tilaghp분 동안의 time lag 후 HP2와 HP3 ON
 - 정지(OFF) 조건이 되면: HP1의 경우 HP1 OFF 다음 tilaghp분 동안의 time lag 후 P12 OFF
HP2와 HP3의 경우 HP2와 HP3 전부 OFF 다음 tilaghp분 동안의 time lag 후 P11 OFF (HP2와 HP3의 총 4대 중 한 대라도 ON 상태면 P11은 ON이어야 함)

Tshmin	40 °C	HP 주간난방운전 개시온도
Tscmax	20 °C	HP 주간냉방운전 개시온도
HPoptme	1 hr	HP 주간 최소 운전시간
tilaghp	1 분	HP time lag
TV2ini	20%	TV2 운전 초기 개도율
TV3ini	80%	TV3 운전 초기 개도율
Thp1e	25 °C	HP1 증발기 입구온도
Thp2e	25 °C	HP2 증발기 입구온도
Thin	55 °C	HP 난방운전 종료온도
Tcin	7 °C	HP 냉방운전 종료온도
Thhp	55 °C	HP 난방운전 생산온도
Tchp	5 °C	HP 냉방운전 생산온도

[그림 3-19. 히트펌프 및 밸브 운전 조건 변경]

• 계간축열조를 포함한 축열 시스템의 효과 분석 및 검증

- 아래 표와 같이 초기 투자 비용을 고려한 경제성 분석이 진행되었다. 초기비용에는 푸르메 여주농장을 구현하기 위한 실제 구매 및 공사비용이 포함되었다. 연간 운영에 필요한 에너지 비용, 고정 운영 비용, 고정 장비 비용 및 기타 변수를 고려하여 운영 비용(OPEX)을 분석하였다. 또한 에너지 비용을 분석하기 위해 장비 작동을 위한 연료 투입 비용을 고려하였다. 고정운영비를 분석하기 위해 장비를 운영하기 위한 인건비를 계상하였다. 고정비에는 설비의 수명을 반영한 감가상각비와 유지비를 고려하였다. 기타 장비 운영 비용은 운영 비용의 10%로 가정하였다. 고정 설비 비용을 고려하기 위해 계간축열조의 수명은 50년으로 가정하고 나머지 모든 설비는 30년으로 가정하였다. 초기투자비용을 고려한 경제성 분석을 위해, 내구연수만큼 매년초기투자비 금액을 OPEX에 포함하여 산정하는 것으로 계산하였다. 본 융복합 설비를 운영하기 위해 0.3 명의 맨파워가 투입되는 것으로 가정하였으며, 금액은 연간 10,000,000원으로 분석하였다.

- 제안된 설비의 최대 난방부하는 1,000kW로 결정하였고, 전기보일러의 설계용량은 1,100kW로 설계하였다. 기존 열원 운영비 산정은 등유(즉, 면세유) 단가가 기름보일러 운영비를 결정하고, 산업용 전기료로 전기보일러 운영비를 결정했다. 1,000kW 이상의 전기 용량은 산업 전기 비용으로 지불해야 하므로 전기요금은 산업용 비용으로 분석하였다. 기름보일러의 운영비용은 경기도의 한 국석유공사에서 정한 면세유 평균가격을 참고하였다. 등유 월 소비단가는 868.54원/리터에서 1,140.99원/리터 사이였다.
- 본 실증연구결과에서는 PVT의 발전량은 도출되지 않았으나, 향후 운영을 통해 PVT의 발전을 통한 전력저감효과를 고려할 수 있다. 또한 PVT의 발전을 통해 얻은 잉여전력은 system marginal price (SMP)로 판매가 가능하다. 본 연구에서는 2022년 1월 기준 거래되고 있는 금액인 150 원 /kWh로 분석을 진행하였다.
- 에너지 사용량은 에너지원별 온실가스 배출량에 해당하는 계수를 적용하였다. 등유는 0.404262 tCO₂eq./MWh, 전력은 0.45941 tCO₂eq./MWh의 계수를 사용하여 온실가스 배출량을 산정하였다.

<표 3-1. 각 시스템별 초기투자비용>

Components	Price	Unit	Case 1 (Oil boiler)	Case 2 (Electric boiler)	Case 3 (Proposed system)
Oil boiler	0.05	10 ⁶ KRW/kW	50,000		
Electric boiler	0.04	10 ⁶ KRW/kW		40,000	
Solar thermal collectors	0.35	10 ⁶ KRW/m ²			160,000
Heat pumps	1.27	10 ⁶ KRW/RT			310,000
TTES	0.31	10 ⁶ KRW/m ³			320,000
BTES	0.01	10 ⁶ KRW/m ³			340,000
Buffer tank	0.45	10 ⁶ KRW/m ³	90,000	90,000	130,000
Pipeline	250	10 ⁶ KRW/set	25,000	25,000	250,000
System integration and control system	75	10 ⁶ KRW/set	75,000	75,000	75,000

- 농업시설에 대한 신재생에너지 이용을 활성화하기위해 국내에서는 “농업에너지이용효율화사업”을 추진중에 있다. 본 사업은 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」제4조(시책과 장려 등), 「에너지이용 합리화법」제36조(폐열의 이용), 「농어업·농어촌 및 식품산업기본법」제8조(농어업의 구조개선과 지속가능한 발전)에 대한 법령을 근거로 추진되고 있으며, 국고와 지방비가 80%, 자부담 20%로 초기투자비용을 줄일 수 있다. 하지만, 이러한 초기투자비용 지원은 신청을 통해 선정되어야 가능한 부분이므로, 이러한 투자금 이외에 농업에 대한 신재생에너지 설치 활성화 정책이 필요한 실정이다.
- 이에, 본 연구에서는 최근 농업에 대한 신재생에너지 설치 및 투자 활성화를 위한 방안 중 하나로, 탄소배출권 판매가 가능하도록 정책적 추진이 된 상황을 가정하여 경제성 분석을 진행하였다.
- 탄소배출권 거래는 교토의정서 제17조에 규정되어 있는 온실가스 감축체제로서, 정부가 온실가스를 배출하는 사업장을 대상으로 연단위 배출권을 할당하여 할당범위 내에서 배출행위를 할 수 있도록 하고, 할당된 사업장의 실질적 온실가스 배출량을 평가하여 여분 또는 부족분의 배출권에 대하여는 사업장 간 거래를 허용하는 제도이다. 우리나라 배출권거래제도는 "저탄소 녹색성장기본법('10.1)"제46조에 의거하여 "온실가스 배출권 할당 및 거래에 관한 법률('12.5)"이 제정되어 2015년 1월 1일부터 시행 중에 있다. 온실가스 감축 여력이 높은 사업장은 보다 많이 감축하여 정부가 할당한 배출권 중 초과감축량을 시장에 판매할 수 있고, 감축 여력이 낮은 사업장은 직접적인 감축을 하는 대신 배출권을 살 수 있어 비용절감이 가능하다. 각 사업장이 자신의 감축 여력에 따라 온실가스 감축 또는 배출권 매입 등을 자율적으로 결정하여 온실가스 배출 할당량을 준

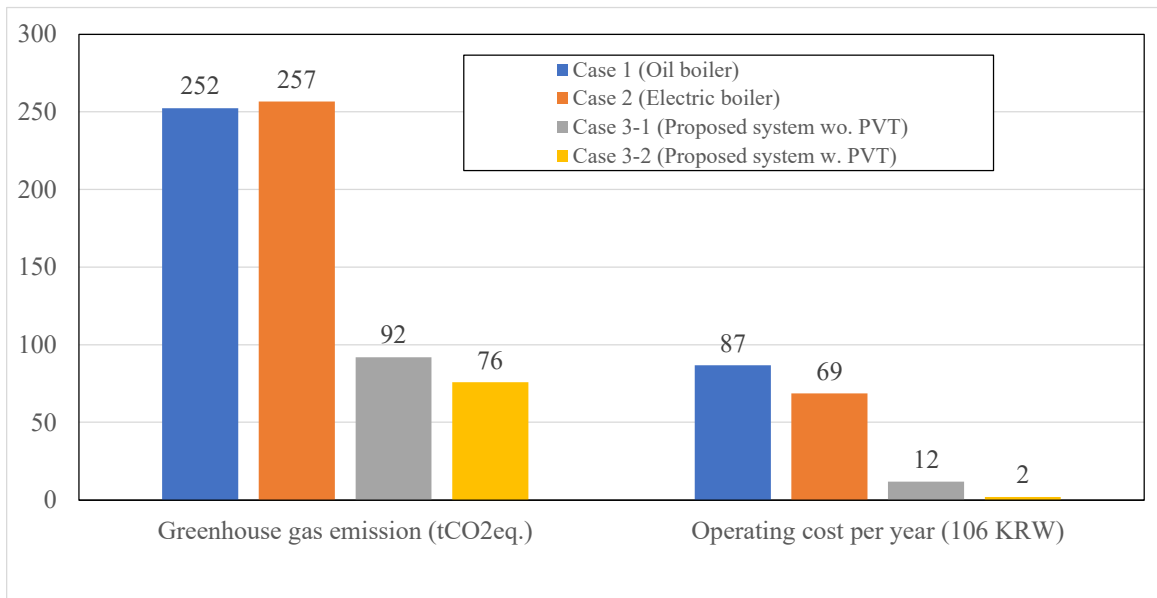
수 할 수 있다.

- 탄소배출권 판매수익을 통해 농민들의 농업에서의 에너지 절약과 신재생에너지를 통한 탄소배출 저감이 추가 수익으로 창출될 수 있는 만큼 제안된 재생에너지 융복합시스템의 실용화를 앞당길 수 있을 것으로 판단된다.
- 탄소배출권에 대한 분석을 위해, 온실에서 기존 난방시스템을 사용하였을 때, 배출되는 탄소배출량을 기준으로 탄소배출량 감축량만큼을 탄소배출권을 판매할 수 있도록 가정하였다. 탄소배출량 허용치는 기존 난방시스템인 기름보일러와 전기보일러 배출량을 허용치로 기준을 하여 분석을 진행하였다. 탄소배출권 가격은 현재 국내의 한국거래소에서 2022년 1 월 기준 거래되고 있는 금액인 35,000 KRW/tCO₂eq.와 유럽가격(EU Emission Trading System (ETS) carbon price)인 81 EUR/tCO₂eq. (108,000 KRW/tCO₂eq.)을 기준으로 분석을 진행하였다.

<표 3-2 각 분석 시스템 케이스 설명>

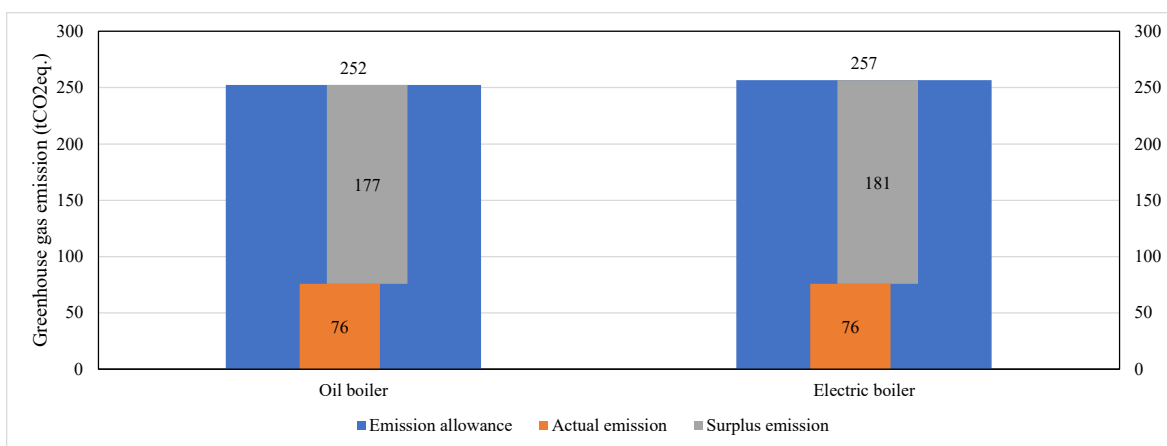
시스템 케이스	설명
Case 1	기름보일러(Oil boiler)
Case 2	전기보일러(Electric boiler)
Case 3-1	재생에너지 융복합시스템(PVT 시스템 제외)
Case 3-2	재생에너지 융복합시스템(PVT 시스템 포함)
Case 3-3	재생에너지 융복합시스템(국내기준 기름보일러대비 탄소배출허용량)
Case 3-4	재생에너지 융복합시스템(국내기준 전기보일러대비 탄소배출허용량)
Case 3-5	재생에너지 융복합시스템(EU기준 기름보일러대비 탄소배출허용량)
Case 3-6	재생에너지 융복합시스템(EU기준 전기보일러대비 탄소배출허용량)

- 실증단지 내 난방기간 총 공급열량은 530.6 MWh로, 동일열량을 기존 열원을 통해 공급되었을 경우의 운영비용 및 온실가스발생량은 그림 3-20와 같다. 연구결과, 제안된 재생에너지 융복합시스템의 온실가스 배출량은 기존 등유보일러와 전기보일러는 사용하는 방식에 비해, 각각 38.7%와 64.6%의 배출량 절감효과를 보이는 것으로 나타났다. 이때, PVT에서 생산된 연간 발전량인 48.0 MWh를 고려할 경우, 기존 등유보일러와 전기보일러는 사용하는 방식대비 70.0%와 70.5%의 배출량 절감효과를 보이는 것으로 나타났다. 제안된 시스템의 연간 에너지 운영비용은 제안된 시스템이 산업용 전력을 사용하고 기존 등유보일러는 면세유를 사용하는 것으로 분석할 경우, 각각 86.2%와 82.5%의 운영비용 절감효과를 얻을 수 있는 것으로 분석되었다. 또한, PVT의 발전량을 고려할 경우, 97.3%와 96.6%의 에너지 운영비용 절감효과를 보이는 것으로 확인되었다.

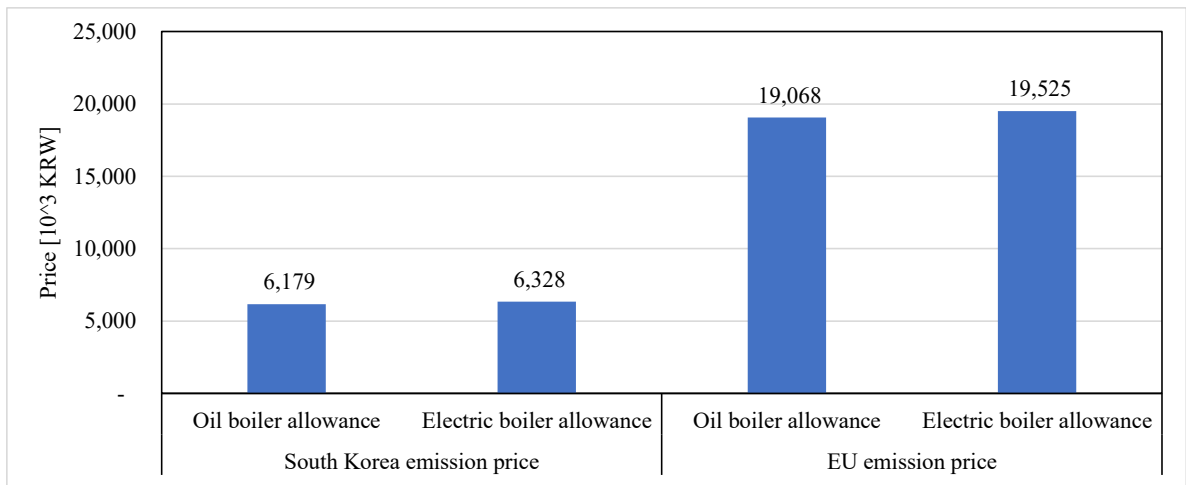


[그림 3-20. 각 시스템 케이스별 탄소배출량 및 운영비용 저감효과 분석]

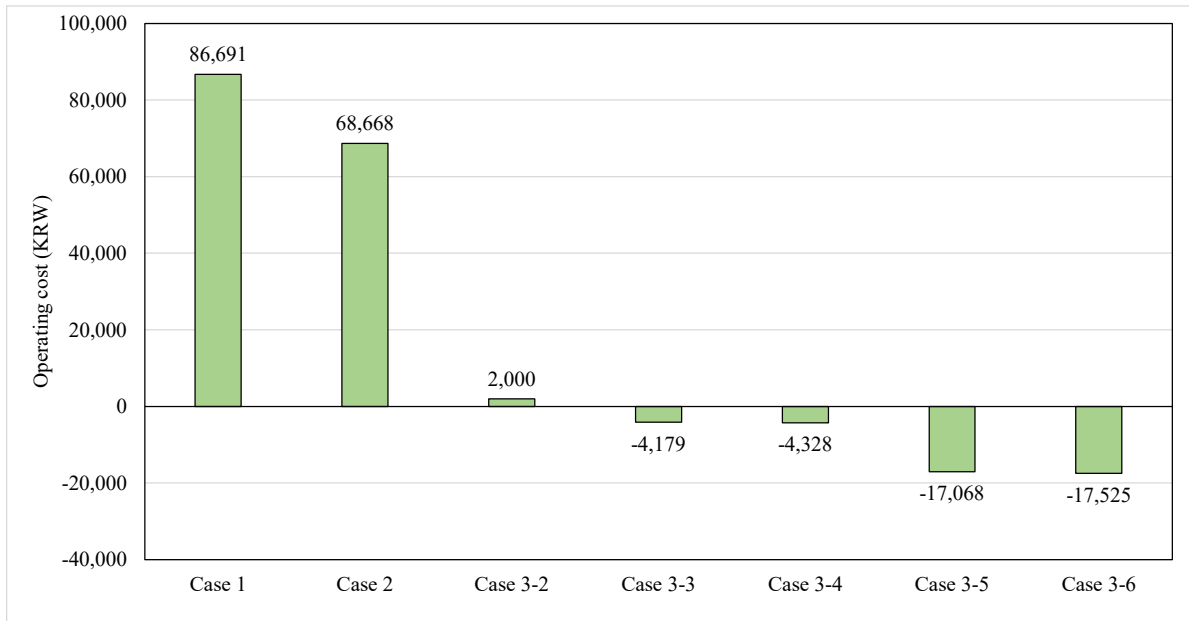
- 아래 그림에서는 기존 기름보일러와 전기보일러 대비 온실가스 배출저감효과에 따른 탄소배출거래 가능량을 도출하였다. 그 결과, 기름보일러와 전기보일러를 기준으로 할 경우, 각각 약 177 tCO₂eq.와 약 181 tCO₂eq.의 잉여 탄소배출량을 도출할 수 있는 것으로 나타났다. 이를 기준으로 그림에서와 같이, 국내 탄소배출권 가격 기준으로 기름보일러 허용배출량 및 전기보일러 허용배출량 대비 각각 약 4,179 천원과 4,328 천원의 연간 추가수익을 얻을 수 있는 것으로 나타났다. 유럽 탄소배출권 가격 기준 기름보일러 및 전기보일러 허용배출량 대비 각각 17,068 천원과 17,525 천원의 추가 수익금을 얻을 수 있는 것으로 분석되었다. 결과적으로 그림과 같이, 기존 시스템과 제안된 시스템의 잉여 탄소배출권을 EU의 탄소배출권 기준 가격으로 거래될 경우, 추가적인 농가의 소득까지도 기대할 수 있다.



[그림 3-21. 각 시스템 케이스별 탄소배출권을 위한 허용배출량 산정]

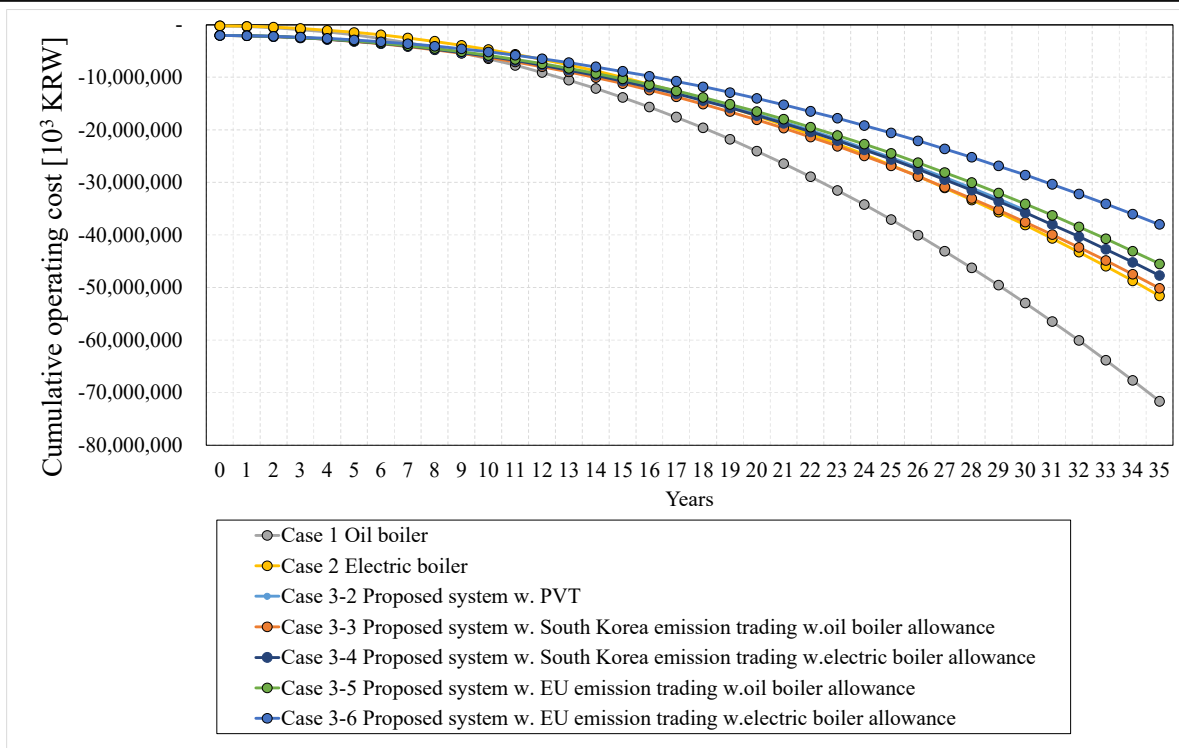


[그림 3-22. 시스템 케이스별 탄소배출권에 따른 연간 수익]



[그림 3-23. 각 시스템 케이스별 연간 설비 운용 비용]

- 이러한 연간 운영비용 절감효과를 기준으로 본 제안된 시스템의 초기투자비용 CAPEX과 연간 운영비용 OPEX가 고려된 경제성 분석을 진행하였다. 그림 13과 같이, 탄소배출권의 수익을 고려하지 않는 Case 3-2의 경우, Case 1과 Case 2 시스템 대비 약 9년과 19년의 payback 기간이 도출되는 것에 비해, EU기준 탄소배출권의 수익을 고려하는 Case 3-6과 Case 1 및 Case 2를 비교한다면 약 8년과 12년의 payback 기간으로 제안된 시스템의 경제성이 도출될 수 있음을 확인할 수 있었다.



[그림 3-24. 각 시스템 케이스별 운용비용 및 비용회수기간 분석]

• 실 사용자를 위한 운전 매뉴얼 작성

- 통합에너지 시스템 내 주요 설비인에 대한 운전 매뉴얼을 작성하였다. 운전 매뉴얼에는 태양열 시스템, PVT 시스템, 히트펌프 시스템, 전력 시설물 등 주요설비에 대한 운전 및 유지관리 지침에 대한 내용과 비상연락망 및 보수관련 설비업체의 연락망 등에 대한 내용을 확인할 수 있다. (운전 매뉴얼 별도 첨부 [별첨3])

*1: 2021-2022년 운전기간 냉난방 부하 (냉방 및 난방공급 부하 산정)

- 2021년-2022년 운전기간동안 연간 난방 부하량은 100.6 MWh/y, 냉방 부하량은 15.0 MWh/y로 실증기간 동안 분석됨
- 냉방 설정온도 35℃, 난방 설정온도 20℃ 임

*2: 난방에너지 분담율

o 주요 설비 열에너지 생산량 및 공급량

- 2022년도 1월부터 2022년 12월까지 운전기간 온열 생산량은 다음과 같음
- 계간축열식 태양열 및 지열 시스템을 통한 난방 공급량은 500.0 MWh였으며, 공기열 히트펌프 시스템을 고려한 난방 총 공급량은 530.6 MWh였음
- 따라서 재생에너지 융복합 이용 시스템의 난방 분담율은 운전기간동안 94.2%임
- 태양열 분담율은 직접분담율 5.0%였으며, 간접분담율은 TTES 계간축열조는 14.2%, BTES 계간축열조는 21.6%로 간접 및 직접 태양열 분담율은 40.8%였음
- 보조열원으로 운전된 전기보일러는 2021년 10월 난방공급시에는 유사시를 대비하여 항상 운전되었으나, 2022년 10월 난방공급부터는 외기온도가 낮고 히트펌프의 고장 등으로 문제가 발생했을 경우에만 작동되도록 제어로직을 수정하였으므로, 2022년 10월부터 보조열원 운전은 0 MWh로 운전됨

- 아래표는 주요설비의 운전기간 온열에너지 공급량의 결과값을 의미하며, 분석기간은 2022년1월부터 2022년 12월까지이고, 시운전기간인 2021년10월부터 2021년 12월까지의 데이터를 포함하였음.

<주요설비의 운전기간 온열에너지 공급량,MWh>

	A.태양열 및 계간축열		B. PVT-BTES, 지열원, 하이브리드 히트펌프		C.운전기간 온열에너지 공급량	D.보조열원	난방 부담율 (A+B) / (C+D)
	직접	TTES간접 (TTES-HP1)	BTES간접 (TTES-HP2)	지열원, 하이브리드			
2021.10.	27.0	0.0	0.7	8.6	36.3	0.2	99%
2021.11.	1.4	13.6	22.4	44.4	81.8	8.2	91%
2021.12.	0.0	2.2	29.0	76.3	107.5	19.7	84%
2022.01.	0.1	6.7	30.8	80.0	117.6	23.4	83%
2022.02.	0.2	15.7	17.7	56.2	89.8	13.7	87%
2022.03.	0.2	17.7	3.2	36.6	57.6	5.8	91%
2022.04.	0.1	15.1	0.0	4.9	20.1	0.0	100%
2022.05.	0.0	0.4	0.0	0.5	0.9	0.0	97%
2022.09.	0.0	0.0	0.0	2.4	2.4	0.0	100%
2022.10.	21.2	0.0	0.1	9.3	30.6	0.0	100%
2022.11.	5.0	0.4	15.9	30.4	51.8	0.0	100%
2022.12.	0.0	19.1	46.7	94.0	159.9	0.1	100%
총합	26.7	75.1	114.5	314.3	530.6	43.0	93%
부담율	5%	13%	20%	55%	93%	7%	-

*3: 냉방에너지 부담율

o 주요 설비 냉방에너지 생산량

- 2022년 연간 총 냉방에너지 생산량 = 지열HP+하이브리드HP= 65.2+19.7=84.90 MWh

o 2022년 운전기간 냉방 부하 및 부담율:

- 운전기간 냉방 부담율 : 총 냉방 열에너지 생산량/냉방 부하 = 84.9 MWh / 84.9 MWh = 100%

<주요설비의 운전기간 냉열에너지 공급량, MWh>

	A.지열HP	B. 하이브리드 HP	C.운전기간 냉열에너지 공급량	D.보조열원	냉방 부담율 (A+B) / (C+D)
2022.7.	30.4	3.5	33.9	0	100%
2022.8.	29.5	11.0	40.5	0	100%
2022.9.	5.3	5.2	10.5	0	100%
총합	65.2	19.7	84.9	0	100%
부담율	76.8 %	23.2 %	-	-	-

*4: 운전기간 연간 난방 에너지비용 절감율 (2022년도)

o 등유 사용 시 에너지 비용

- 연료사용량 : 난방공급량/보일러 효율/발열량(Mcal/l, 실내 등유) = (530.6 MWh × 860.0 Mcal/MWh) / 0.85 / 8.2¹⁾ = 65,467.0 L

1) 등유 저위발열량 8.2 Mcal/L

- 등유로 100% 난방시 에너지 비용 : 연료비 = 연료사용량 × 당 연료비 = 65,467.0 × 월 별 면세유 단가²⁾ × 부가세(1.1) = 86,691 천원

2) 2022년도 오피넷 경기지역 면세유 단가(원/L)

o 전기히터 사용 시 에너지 비용 (난방, 산업용)

- 전력사용량 : 난방공급량/전기보일러 효율 = 530.6 MWh / 0.95 = 558.5 MWh

- 전기로 100% 난방시 에너지 비용 : 전기요금 = [전력 사용량 × 전력량 요금³⁾ + 최대부

$\text{하(kW)} \times 1.1(\text{여유율}) \times \text{기본요금}^{4)} \times \text{전력산업기반기금 및 부가세}(1.137) = 68,668 \text{ 천원}$

3) 한전전기요금 산업용 전력(을) 고압A 선택2 기준 시간 및 계절별 차등요금적용

4) 한전전기요금 산업용 전력(을) 고압A 선택2 기본요금적용

○ 계간축열식 태양열 및 지열 시스템의 에너지 비용 (난방, 농사용)

- 태양열, 계간축열조 및 히트펌프의 순환펌프등 총 전기사용량 = 213.0 MWh

- 지열, BTES, 하이브리드 HP 연간 전기사용비용 : [연간 전기사용량(213,035 kWh) × 전력량 요금(원/kWh)⁵⁾ + 최대부하(kW) × 1.1(여유율) × 기본요금(1210원/kW)] × 전력산업기반기금 및 부가세(1.137)

= 10,268 천원

5) 한전전기요금 농사용전력 고압 기준 계절별 차등요금적용

- PVT 발전량 판매(48.0 MWh, SMP 150 원/kWh)를 고려한 전기사용비용 = 2,348 천원

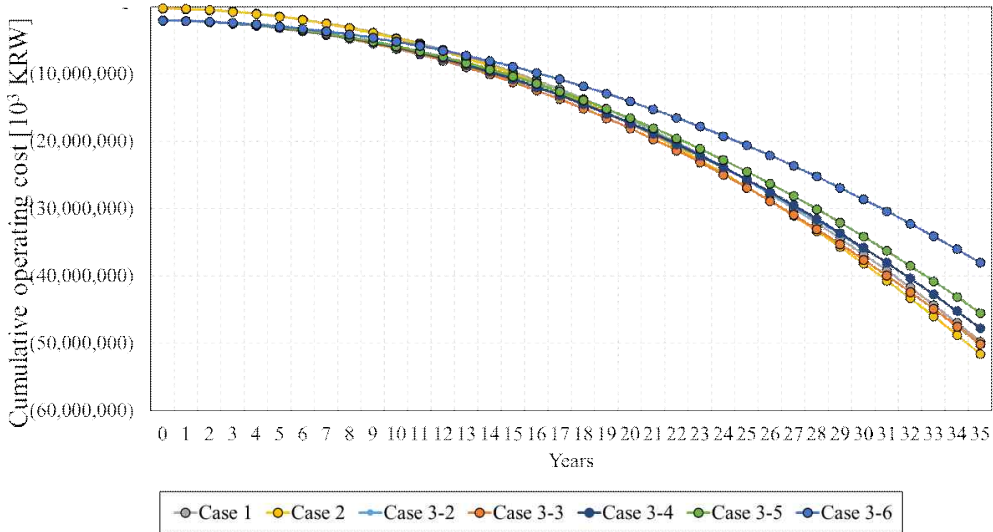
○ 난방 에너지비용 절감율: 난방 에너지 비용 절감액 / 등유 사용시 에너지 비용
= [86,691천원 - 2,348천원] / 86,691 천원 = 97.3 %

○ 난방 에너지비용 절감율: 난방 에너지 비용 절감액 / 전기히터 사용시 에너지 비용

= [68,668 천원 - 2,348 천원] / 68,668 천원 = 96.6 %

※ 위 결과는 난방공급이 진행된 2022년 1월 ~ 2022년 12월까지의 난방공급 분석 결과임

*5: 난방 운전 결과를 활용한 경제성 평가

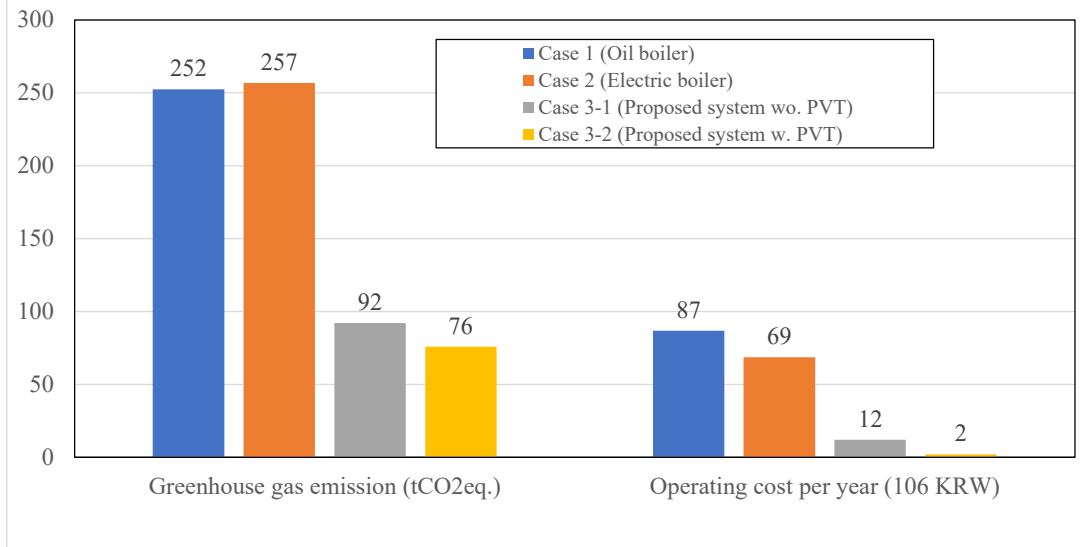


○ 제안된 시스템의 초기투자비용 CAPEX과 연간 운영비용 OPEX가 고려된 경제성 분석을 진행하였음

○ 위 그림과 같이, 탄소배출권의 수익을 고려하지 않는 경우, 등유보일러과 전기보일러 시스템 대비 약 25년과 21년의 payback 기간이 도출되는 것으로 분석됨

○ 만약, EU기준 탄소배출권의 수익을 고려하는 경우 등유보일러와 전기보일러 시스템 대비 약 13년과 12년의 payback 기간으로 제안된 시스템의 경제성이 도출될 수 있음

*6: 난방 운전 결과를 활용한 탄소중립(온실가스 저감) 효과 정리



o 제안된 재생에너지 융복합시스템의 온실가스 배출량은 PVT에서 생산된 연간 발전량을 고려할 경우, 기존 등유보일러와 전기보일러는 사용하는 방식대비 70.0%와 70.5%의 배출량 절감효과를 보이는 것으로 분석되었음

- 실증운전 데이터 분석을 통한 통합에너지 시스템 보완 사항 발굴 및 개선(hardware 포함)

- 보완 및 개선을 위한 2차년도 운전 시 문제점을 다음과 같이 도출하였음

- 1) 온실 배관 터짐
- 2) 운전 시 온실 배관(온실 배관은 농장주가 시공) 사이 간섭으로 인한 원인 분석의 어려움
- 3) 지하수 사용에 따른 수질 문제로 인한 배관 세척 문제
- 4) 비상운전을 위한 충분한 비상열원 요구(농장주)
- 5) 여주기온을 고려한 동파 방지 필요
- 6) PVT 음영 조건에서의 집열기 손상

- 위 문제점에 따라 아래와 같이 해결 방안을 강구하였음

- 1) 온실 배관 터짐

- : 온실 건축업체에서 일부 온실 배관을 따로 설치하였으며, 제어 상 분리되어 있어 온실내부 배관에 대한 품질을 보장하기 어려움

- : 2차년도에 온실 배관이 누수되어 축열조 내 물이 빠지면서 실증 시스템에 사후 서비스 건을 만든 경험이 있었기 때문에, 온실 배관과 기계실 온수 배관의 회로를 분리하여 온실내부 배관의 문제 발생 시에도 축열 시스템 및 열공급 시스템에는 영향을 받지 않도록 열교환기로 분리하는 것을 고려함

- > 해결방안 : 온실 배관을 열교환기로 분리

- 2) 운전 시 온실 배관 사이 간섭으로 인한 원인 분석의 어려움

- : 온실 배관의 순환펌프 작동과 열공급을 위한 축열시스템 메인 펌프 간의 간섭이 발생하여 물 분배 시 펌프 사이 양정과 유량 모니터링에 어려움이 있었으며, 이에 따라 열공급 메인 펌프와 온실 내부 순환펌프 사이에 열교환기를 설치하여 분리하는 것을 고려함

-> 해결방안 : 역시 온실 배관을 열교환기로 분리

3) 지하수 사용에 따른 수질 문제로 인한 배관 세척 문제

: 현장에서는 수돗물의 비용문제로 대부분 지하수를 사용하고 있으며, 지하수 사용 시에는 배관에 스케일이 발생할 확률이 높아 이에 대한 대책이 필요함

: 2차년도에 세관을 실시하고 수돗물로 충수를 하였으나, 향후 운영 시 스케일 문제를 대처하기 위해 울트라 샌드 필터를 병렬로 설치하여 축열 난방 수에 대한 수질을 관리하는 것을 고려함

-> 해결방안 : 울트라 샌드 필터를 병렬형태로 설치하여 수질오염 방지

4) 비상운전을 위한 충분한 비상열원 요구(농장주)

: AS에 따른 단기간 열공급 중단 등 비상시에 열원이 부족할 것을 우려하여 농장주가 그에 적합한 비상열원을 요구함

-> 해결방안 : 비상용 전기보일러 용량 증설

5) 여주의 기온을 고려한 동파 방지 필요

: 동계 동파가 있을 수 있는 태양열 및 PVT 시스템의 순환펌프에 바이패스 배관을 설치하여 동파를 방지하도록 수정이 필요함

-> 해결방안 : 동파 방지 시스템 구축

6) PVT 음영 조건에서의 집열기 손상

-> 해결방안: PVT spar 두께 조절 및 집열기 폴리머 재질 변경 검토 / 음영 관련 장애물 제거

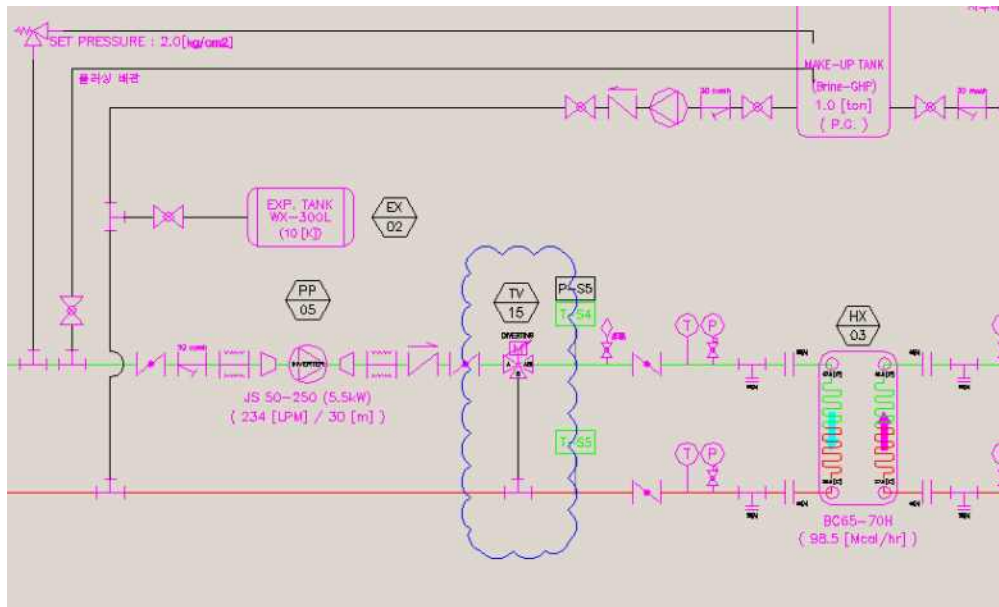
- 문제점 도출 및 해결 방안 강구 후 개선사항은 아래와 같음

1) 동파방지 시스템 구축

: PVT 동파방지 기능을 추가하여 동계기간의 AS요소를 줄임

: PVT 집열부의 열매체는 동파를 방지하기 위해 프로필렌글리콜(PG) 40%를 사용하며, 이때의 열매체 동결온도 -21°C 이하로 외기가 낮아질 때 열매체의 동결을 방지하기 위해 집열펌프(PP-05)를 가동함

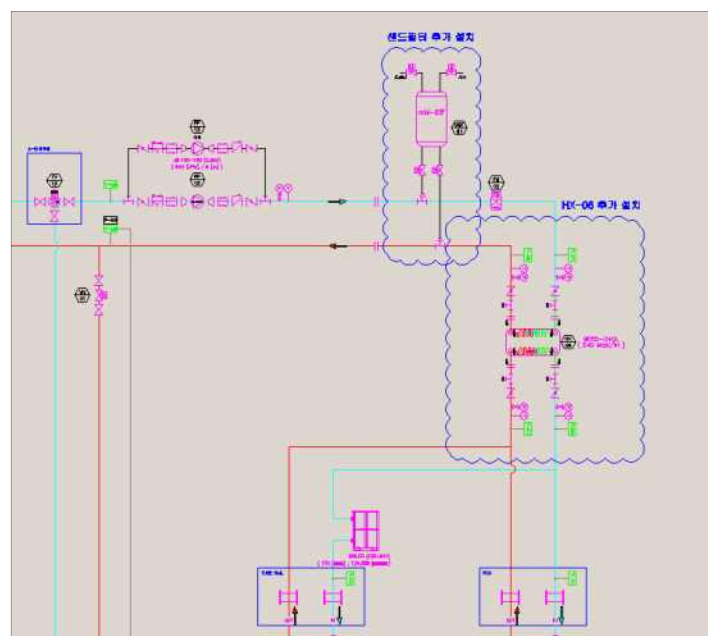
: 이때, 열매체의 온도가 매우 낮아 열교환기 2차측이 동파되는 문제가 발생하므로, 열교환기의 동파를 방지하기 위해서 PVT 패널과 열교환기 사이에 열매체 유동을 차단하기 위한 바이패스를 두어(아래 그림 참조) TV-15 밸브와 바이패스 라인을 추가 시공함



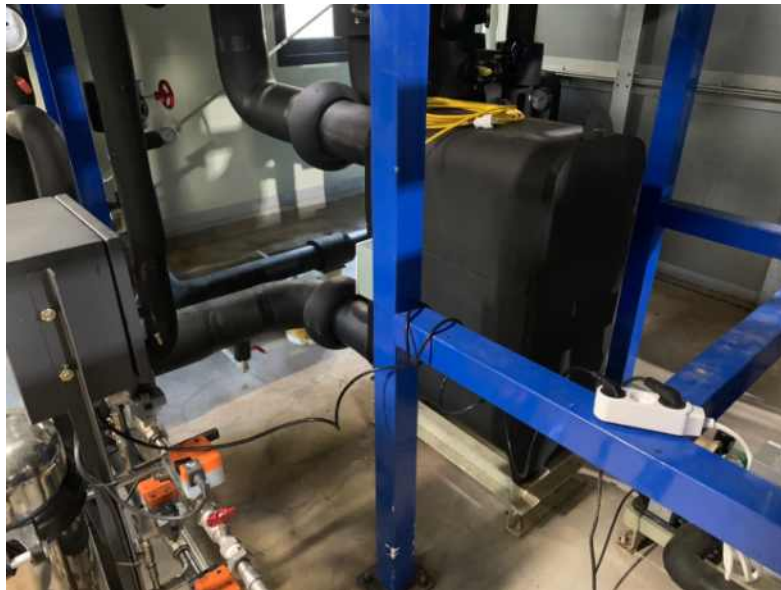
[그림 3-25. 동파방지 시스템 구축 P&ID]

2) 온실의 배관 누수 시 시스템 보호를 위한 대형 열교환기 시공 및 선정

- : 최초 시공 시에는 온실에 공급하는 온수의 온도를 최대한 높게 공급하기 위해 열교환기 사용을 배제하는 설계 및 시공을 하였음
- : 그러나 온실 내부 배관 누수에 의해 NTES 내 열매체가 전부 누수되는 상황이 발생하였고, 이를 방지하기 위해 물리적으로 온실 내부 배관시스템과 분리하기 위한 열교환기(HX-06)를 추가 시공하였음
- : 이에 따라 온실 내부 배관과 기계실 온수 배관의 회로를 분리하여, 온실 내부 배관의 문제 발생 시에도 축열 시스템 및 열공급 시스템은 영향을 받지 않도록 함



[그림 3-26. 열교환기 구축 P&ID]



[그림 3-27. 열교환기 구축 완료사진]

3) 지하수로 인한 수질오염 방지를 위한 울트라 샌드 필터 설치

- : 대부분의 현장과 스마트팜에서는 용수 사용에 제한(지하수 사용, 시수공급 안됨)이 있음
- : 지하수 사용 시에는 배관에 스케일이 발생할 확률이 높아 이에 대한 대책이 필요하였으며, 이에 따라 3차년도에 세관을 실시하였음
- : 그러나 현장 지하수에 진흙 등 이물질이 많아, 시스템 배관 및 열교환기 축열조 등이 오염되었으므로 별도의 세관 세척을 진행
- : 그림과 같이 세관 시 스트레이너에 많은 진흙이 모여 유량을 방해하는 요소로 작용함
- : 이후 수돗물로 용수를 충수하였으나, 상황에 따라 시스템 내의 열매체를 지하수로부터 보호하기 위해 열매체 수질 관리가 필요한바 별도의 샌드필터를 설치함



[그림 3-28. 스트레이너 진흙 사진]



[그림 3-29. 세관시 스트레이너 사진]



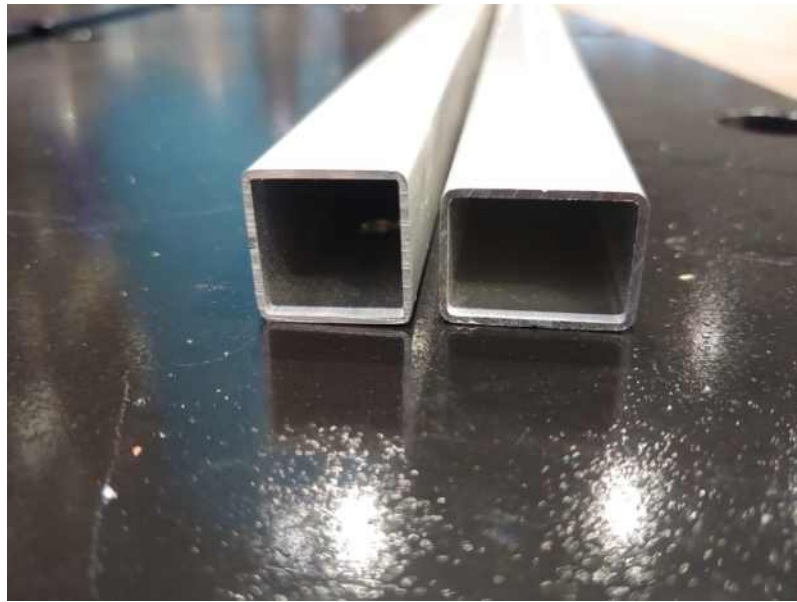
[그림 3-30. 울트라 샌드 필터(USF) 설치 완료 사진]

4) PVT 모듈 음영조건에서 집열기 손상 방지를 위한 spar 크기 조절 및 개선

: 기존 PVT 제품의 경우 PV후면과 폴리머 집열기의 접착을 최대한 유지하기 위해 19mm 의 spar를 적용하였으나, 현장 특성상 PVT 설치위치 좌측은 나무에 의한 음영 및 중간부는 가로등에 의한 음영이 지속적으로 발생함

: 즉, 현장 여건상 19mm spar를 사용할 경우 음영에 의한 PV 셀의 과열이 발생되어 집열부에 손상이 발생할 우려가 큼

: 접착시 누르는 압력을 줄이고 접착면을 적절히 유지시키기 위해 spar 형상을 변경함(기존 19×19, 변경 17×23)



[그림 3-31. spar 형상 변경 완료(기존19x19, 변경 17x23)]

5) 메인 배관 유량 교정 및 확인을 위한 포터블 유량계 설치

: 부하펌프 (PP-13)의 유량이 온실측에 제대로 공급되지 않아, 확인용으로 추가 설치하여 문제 해결 (온실측 분배 헤더 체크밸브 미설치로 인한 열매체 루프 현상 확인함)

: 이후, 실시간 확인하기 위해 고정유량계(FM-02)로 교체 설치함



[그림 3-32. 포터블유량계 설치 사진]

6) 비상난방열 공급용 설비 증설

: AS로 인한 단기간 열공급 중단 등의 비상시에 열원이 부족할 것을 우려하여 농장주가 그에 적합한 비상열원을 지속적으로 요구하였으며, 또한 열공급이 중단되는 경우에 농작물에 비가역적 피해가 발생할 것으로 예상되어 이에 맞는 대책을 요구함

: 기존 온실 설치업체에서 설치한 비상용 보일러(150 kW)의 용량을 증설하였음

: 본 시스템이 다운되는 경우, 비상용으로 작물의 생존을 위해 사용하기에는 용량이 부족하여 보일러 변경(500 kW)



[그림 3-33. 비상용 전기 보일러 용량 증설]

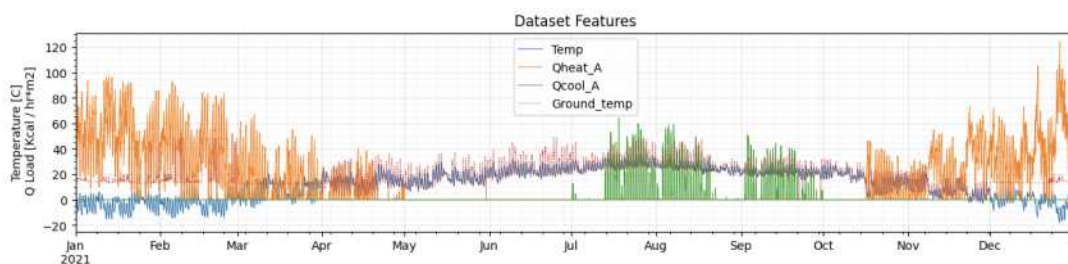
- IoT 기반 통합에너지 시스템 고장진단 기술개발과 모니터링 및 제어 시스템 완성

- 고장진단 기술 개발을 위한 온실 부하 시뮬레이션 기술 개발

- 1) Data set 검증

- : 푸르메 실증단지에서 취득한 2021.01.01에서 2021.12.31까지 1년간의 데이터를 시뮬레이션함

- : 외기온도 및 실내온도를 기반으로 열부하를 아래와 같은 순서로 AI 시뮬레이션 분석함



[그림 3-34. 분석용 온도 data set(1년 자료)]

- (a) Data Abnormalities 분석

- : 아래는 지중온도(Ground_temp)를 외기온도(Temp)와 함께 overlay한 그래프로써, 1월~3월, 12월에는 지중온도가 15°C 정도를 유지하다가 4월부터 11월까지는 데이터의 양상이 바뀌어 데이터의 stationarity(즉, mean과 variance의 일관성)가 깨짐

- : Time-series regression은 stationary 데이터를 가정해야하기 때문에, 바뀌는 두개의 구간에 대해서는 모델에 이것을 알리는 추가 변수를 입력해주거나 무엇인가 처리를 해줄 필요가 있음

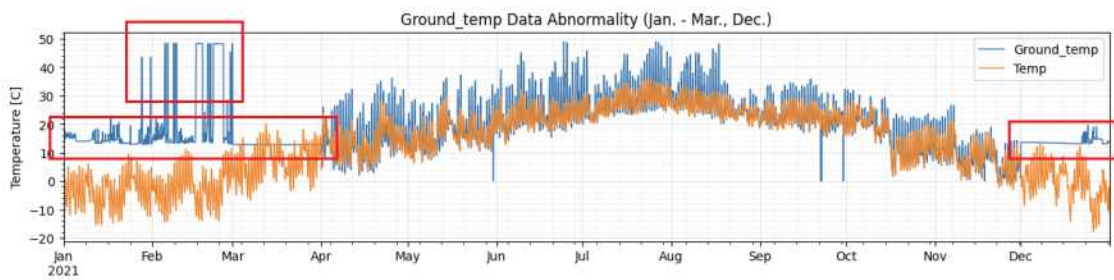
- : 5월부터 10월 중순 까지 대부분 Qheat는 0을 유지하기 때문에 큰 영향은 없었지만, 4월과 10월

에 외부온도가 15°C를 넘나들 때 이 영향이 결과 값에 반영되어 예측률이 조금 떨어지는 것은 확인함

: 조정이 필요한 구간은 2월의 구간인데, 일정한 움직임을 유지하던 지중온도가 최대치인 ~50까지 몇 번 spike하는 것이 확인되었으며, 이 부분은 눈에 쉽게 띠 정도로 예측 결과에 영향을 많이 주는데, 아래 각 모델섹션의 Daily와 Monthly 예측 그래프들에서 확인할 수 있음

: 지중온도는 입력변수로서는 target과의 중요성/연관성이 비교적 낮아 일단은 비정상 데이터를 그대로 유지하고 진행함

: 예측률을 더 높이거나 특히 상용화 단계를 고려할 때에는 확인 필수이며, i) 문제되는 sample들을 학습에서 제거, ii) 지중온도를 입력변수에서 제거(제거 되어도 예측률은 높게 유지 가능), 또는 iii) 다른 time-series 또는 autoregressive 컴포넌트들로 지중온도의 영향을 더 줄이는 방법 등으로 해결이 필요함



[그림 3-35. abnormal temp dada 구간 확인]

(b) A동과 B동의 난방부하 비교

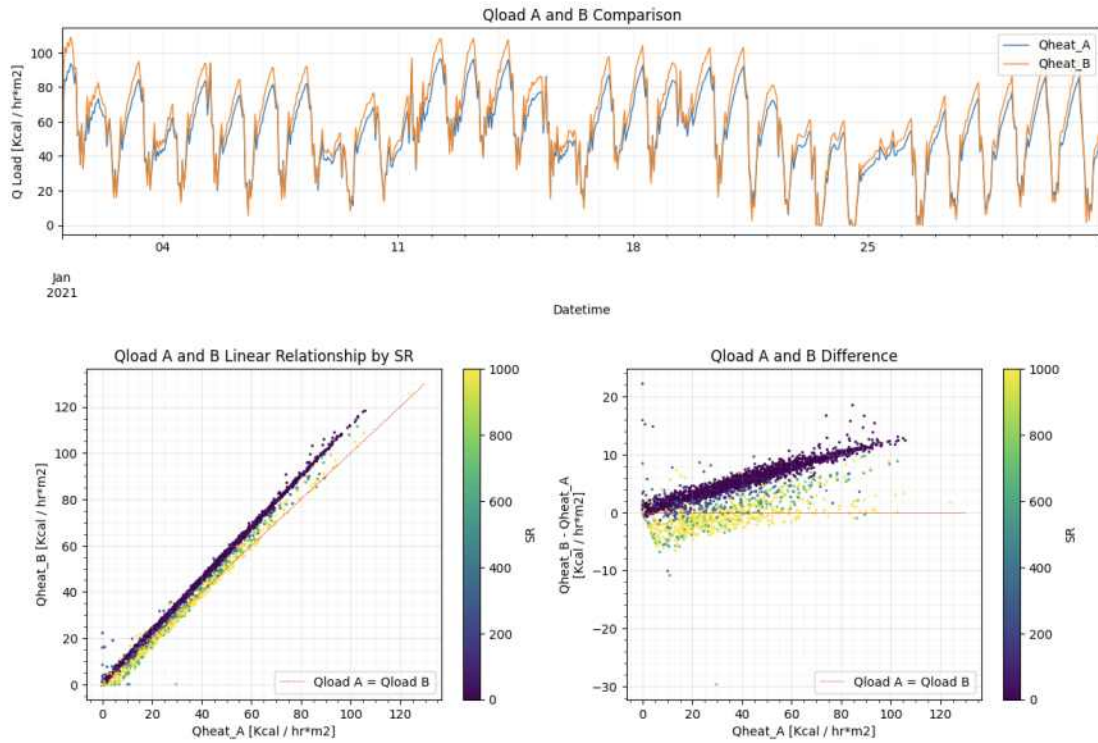
: A동과 B동의 면적 등 특수성은 서로 달라서 개별 모델을 학습하여 생성하는 것이 정석 방법이지만, 하나의 학습 모델로 모두 예측 가능한 방법의 가능성을 확인함

: 다음은 1월 A동과 B동의 난방부하 예시와 두 동의 난방부하 및 난방부하 차이를 일조량(SR)에 따라 구분하여 비교하는 그래프들임

: 1월 "Comparison" 그래프에서 두 동의 난방부하 패턴은 거의 일치하며 값의 차이는 일정하게 유지되는 것을 볼 수 있고, 그 아래 그래프에서 두 동의 난방부하 차이는 linear 한 관계가 있음을 확인함

: 일조량이 없을 때(검보라색)는 A동에 필요한 난방부하가 늘어날 때 B동에 추가로 필요한 난방부하량도 일정하게 늘어나며, 일조량(SR, 노란색)이 있을 때에도 같은 기울기가 유지됨

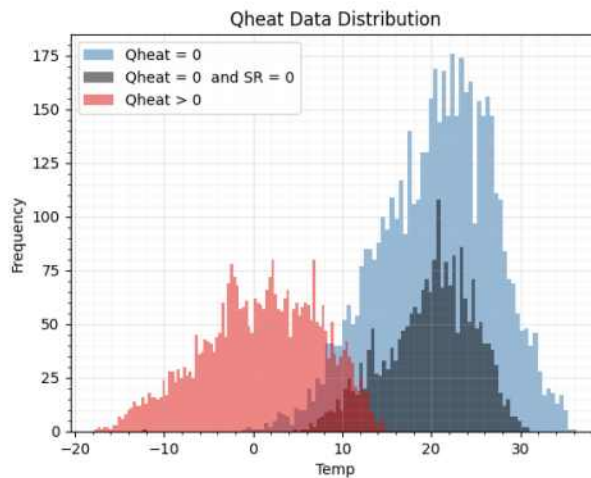
: 즉, 간단한 linear regression으로 난방부하 차를 산출하여 하나의 동만 학습한 모델에 더해주기만 하면 다른 동의 난방부하도 나오게 됨



[그림 3-36. A동 및 B동의 난방 부하 패턴 비교]

(c) Qload Analysis

- : 난방부하가 있을 때에 ANN으로 그 양을 찾는 것은 어렵지 않지만, 필요한 입력변수들이 부족할 경우 비슷한 입력 환경에서도 부하가 발생 할 때와 안 할 때가 겹쳐 문제가 되는 경우가 많음
- : 아래는 외부온도(Temp)에 따른 A동 난방부하 Qheat_A 의 데이터 분포 histogram인데, 파란 색 분포는 난방부하가 없는 샘플들이며 붉은색 분포는 양과는 무관하게 부하가 조금이라도 있는 샘플들임
- : 외부기온이 -2°C 아래로 떨어지면 부하는 무조건 발생하며 15°C 이상에서는 무조건 부하가 없음. 겹치는 부분인 $-2^{\circ}\text{C} \sim 15^{\circ}\text{C}$ 사이에서는 외부온도 이외의 변수 및 요인에 의해 부하가 발생 하기도 하고 안하기도 하는데 모델은 이 부분을 찾게 됨



[그림 3-37. 외부온도에 따른 A동 난방부하 histogram]

: 일조량 SR 의 영향을 감안하여 제거했을 때(검은색 분포)는 외부온도 5°C~15°C 사이에서 부하량의 발생 유무가 겹치는 것을 볼 수 있음

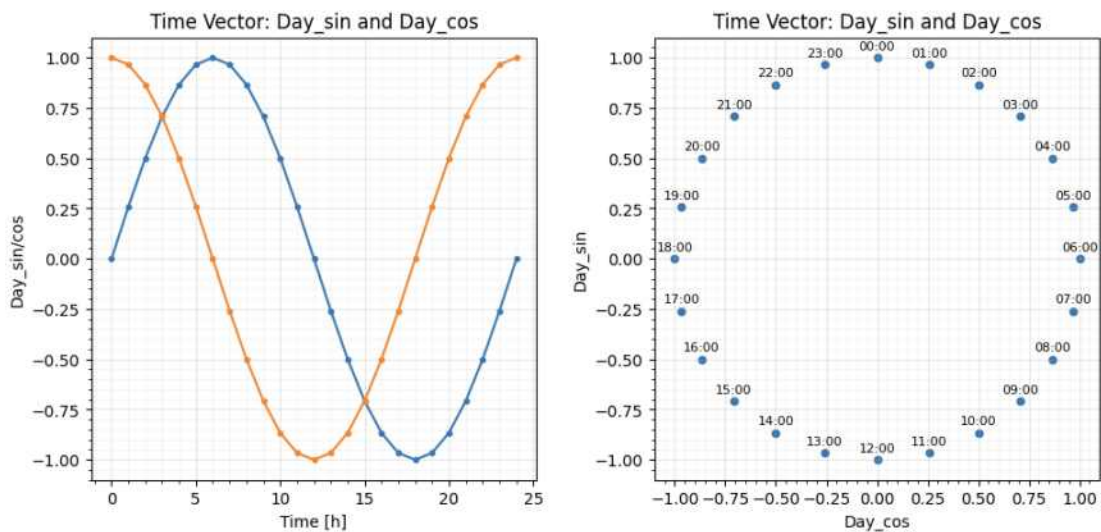
: 즉 ANN 은 일조량이 없는 2°C~5°C에서는 SR 과 Temp이외의 요인들에서 부하량을 찾아야만 하며, 내부기온이나 시뮬레이션에 제공된 기타 변수들이 없는 상황에서는 조금 부족해서 time-series로 기존 데이터 패턴도 활용하였음

(d) Feature Engineering and Preprocessing

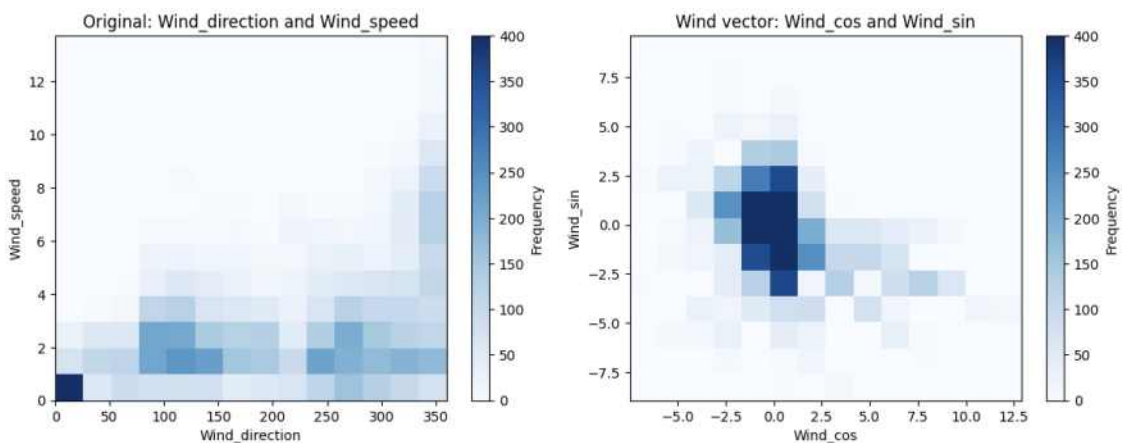
: 시간정보를 날짜로 변환 후 sin과 cos의 time vector로 활용이 가능하도록 했으며, 마찬가지로 Wind_speed 와 Wind_direction도 vectorize 하였음

: Day_sin/cos 벡터와 마찬가지로 바람 방향이 360도 넘어갈 때 끊기는 것을 없애주며 [0, 0] 중심으로 고른 분포(normalization) 역할도 되는데 풍속/풍향은 난방부하 예측에는 큰 영향이 없었음

: 그리고 입력변수들을 모델학습에 사용하기에 앞서 모두 표준적인 z-score로 normalize 하였음



[그림 3-38. 시간정보의 time vector]



[그림 3-39. Wind_speed 와 Wind_direction의 vectorize]

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

- Z = standard score
- x = observed value
- μ = mean of the sample
- σ = standard deviation of the sample

[그림 3-40. normalize를 위한 z-score]

2) Baseline NN Models

: 프로젝트에서 사용된 각 모델들은 input layer 하나, node 수가 150, 100, 50 개를 각각 가진 ReLU activation function의 hidden layer 3개, 그리고 linear activation function으로 된 output layer로 구성된 neural net을 사용하였으며, 파라메타/가중치의 최적화는 adam 알고리즘으로 adaptive learning rate를 사용하여 학습되었음

(a) FBL Model Features

: 첫 baseline 모델들로는 제공된 입력 변수들과 난방 부하량의 관계함수를 최대한 가정하였는데, 각 모델들은 "BL"로 호칭하고 입력 변수들에 따라 대표적인 BL-raw, BL-feat, BL-opt 3개 모델 실험의 결과 값이 도출됨

: BL-raw는 원본 데이터(Temp, RH, SR, Ground_temp, Amb_pressure, Wind_direction, Wind_speed)를 변경 없이 오직 normalization만 하여 모델링을 한 ANN임

: BL-feat는 추가 feature들을 대체하여 (Day_sin, Day_cos, Temp, RH, SR, Ground_temp, Amb_pressure, Wind_sin, Wind_cos)로 모델링한 ANN 이며, BL-opt 는 불필요하거나 예측률을 저해하는 입력변수들을 제거한 모델임

: [0]은 현재 예측시간 t0 만 사용했다는 것을 의미하며, 이후 [0 1 2]은 현재 예측 시간 t-0 외에 이전 데이터 t-1, t-2를 사용했다는 것을 의미함

<표 3-3. BL Model Features>

	Day_sin/cos	Temp	RH	SR	Ground_temp	Amb_pressure	Wind_dir/speed	Wind_sin/cos	Qheat_A
BL-raw		[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]		
BL-feat	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]		[0]	
BL-opt	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]				

(b) BL Validation Results

: 데이터에서 한 달을 빼서 검증용으로 사용하고 나머지 데이터로 모델 학습하는 방식으로, 각 1월부터 12월까지 12번 반복하여 검증하는 12-fold cross validation으로 진행하였음

: Validation score의 metric들은 이전에 사용되었던 max error (Max), mean absolute error (MAE), mean squared error (MSE), root mean squared error (RMSE), explained variance (EV), R2 score (R2)를 사용했으며 추가로 이전의 "20221024_KNU_Yeoju Year1 results.pptx" 에 normalized mean bias error (NMBE)가 있어 mean bias error (MBE)와 함께 비교차원에서 산출함

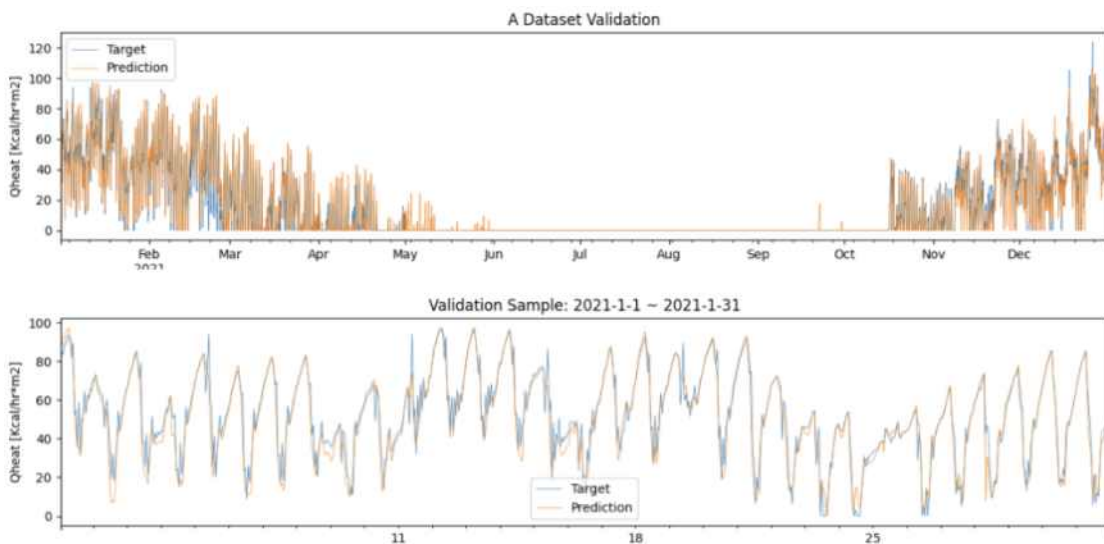
- : 결과는 시간별 난방부하 예측과, 이를 일별/월별 합산한 Hourly, Daily, Monthly로 나뉨
- : NN 모델은 MSE를 cost function으로 최적화했으며, 예측률을 대표적으로 나타내는 metric은 R2를 중심으로 확인 가능함
- : 원본 데이터를 사용한 BL-raw가 0.89로 예측률이 가정 떨어지는데, 첨가된 feature들을 사용한 BL-feat의 0.92와 비교해 보았을 때 분명 Day_sin/cos과 Wind_sin/cos이 예측률을 높여 주는 것은 확인되었음
- : 그리고 Ambient_pressure, Wind_direction/speed, Wind_sin/cos을 입력변수에서 제거함으로써 BL-opt의 예측률은 0.94 까지 오르는데, 이를 통해 바람이나 기압 등 온도와는 무관한 기후 데이터들은 오히려 예측률을 저해한다는 것을 확인하였음

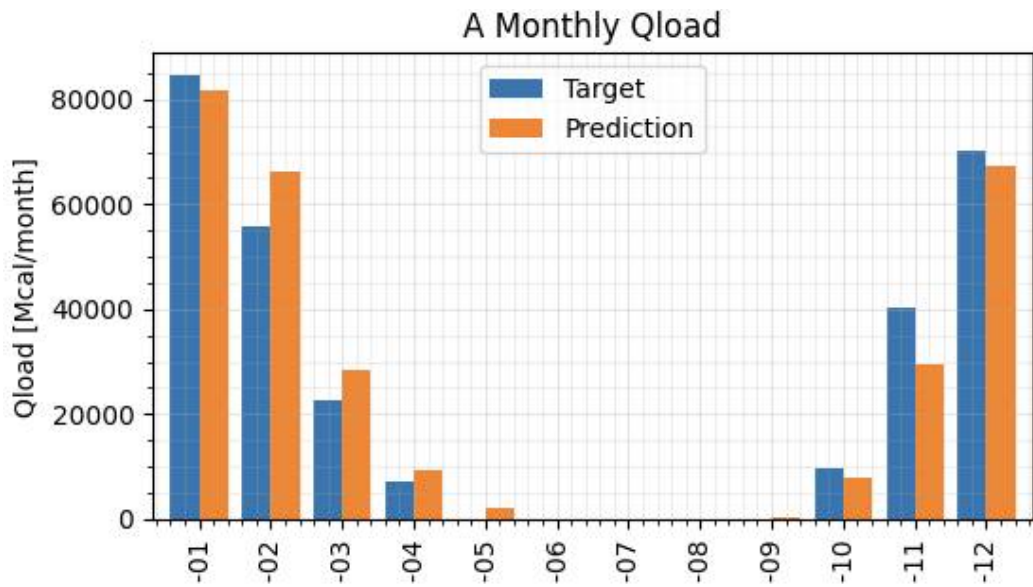
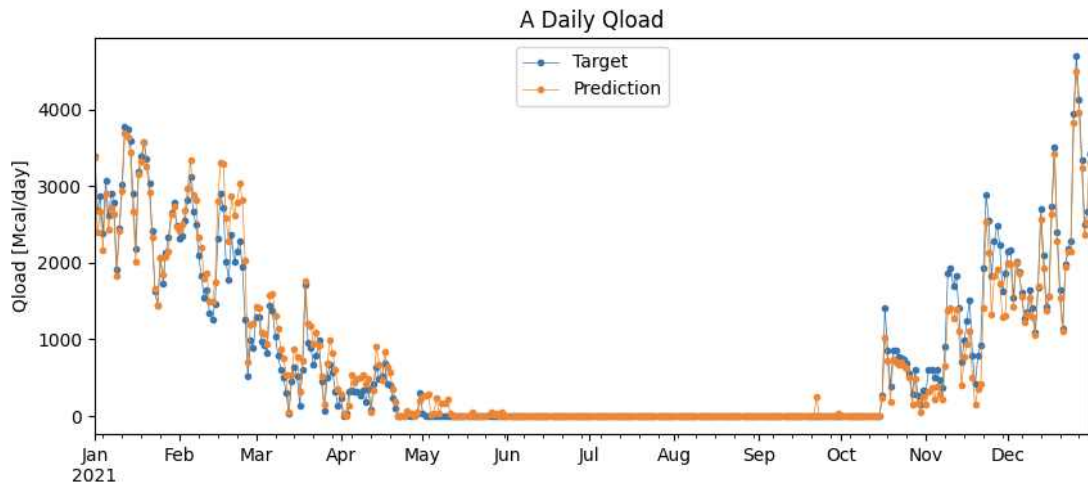
<표 3-4. BL Validation Results>

		Max	MBE	NMBE	MAE	MSE	RMSE	EV	R2
Hourly	BL-raw	57.6192	-0.1083	-0.0071	3.5999	56.2648	7.501	0.8984	0.8984
	BL-feat	52.9405	0.0954	0.0062	3.0854	43.3339	6.5828	0.9217	0.9217
	BL-opt	42.9224	-0.1118	-0.0073	2.6748	31.573	5.619	0.943	0.943
Daily	BL-raw	1548.4807	-5.6159	-0.0071	149.8535	70584.2133	265.6769	0.9389	0.9388
	BL-feat	1247.4938	4.9435	0.0062	123.1714	45292.6312	212.8207	0.9608	0.9608
	BL-opt	873.8241	-5.7971	-0.0073	110.9728	36015.3159	189.777	0.9688	0.9688
Monthly	BL-raw	13741.8359	-170.8158	-0.0071	4357.0319	39407365.0854	6277.5286	0.9548	0.9547
	BL-feat	9517.226	150.3652	0.0062	3552.296	24719053.5867	4971.826	0.9716	0.9716
	BL-opt	10889.7095	-176.3293	-0.0073	3248.0969	24057689.0384	4904.8638	0.9724	0.9724

(c) BL-opt Detailed Results

- : 아래는 대표적인 3개 실험 중 예측 결과가 가장 높은 BL-opt의 예측 regression 그래프, 1월 확대한 그래프, 일별 합산, 그리고 월별 합산 예측 그래프임





[그림 3-41. BL-opt Detailed Results]

- : 위 일별 "Daily Qload" 그래프에서 2월을 보면, 앞서 "Data Abnormalities" 섹션에서 언급한 2월 지중온도(Ground_temp) 데이터 문제가 예측값과 목표값이 크게 차이나는 형태로 드러나는 것이 확인됨
- : 또한 지중온도 데이터 값이 15°C 이하로 떨어지는 영향을 4월, 5월, 11월에서도 확인이 가능함

3) Time-series NN model

- : 위 Baseline ANN (BL)은 각 변수들 사이의 관계를 이용해 implicit하게 단순 interpolation을 하는 것이라면, time-series는 이전의 데이터 값들의 trend 혹은 trajectory까지 활용하여 앞으로의 projection도 implicit하게 extrapolation하는 것이 추가됨
- : 예측률은 높아지지만, 단점은 예측시 이전의 데이터 기록이 있어야 함
- : 프로젝트에서는 무관하지만, 상용시에는 데이터 기록이 메모리 (데이터베이스, 기상청 history API, 등)에 commit되고 또 읽혀 와야 한다는 점을 고려

(a) TS Model Features

: Time-series 형태로 학습한 NN 모델들은 "TS" 로 tagging하여 앞 2시간의 데이터를 입력받은 'TS-2'와 4시간까지 입력받는 'TS-4'모델 두개의 결과를 표시함

<표 3-5. TS Model Features>

	Day_sin/cos	Temp	RH	SR	Ground_temp	Amb_pressure	Wind_dir/speed	Wind_sin/cos	Qheat_A
TS-2	[0]	[012]	[012]	[012]	[012]				
TS-4	[0]	[01234]	[01234]	[01234]	[01234]				

(b) TS Validation Results

: TS는 BL보다 예측률이 높는데, 이는 순수한 수학적 관계함수 approximation을 벗어나 점차 pattern recognition의 영역으로 들어가기 때문임

: TS 도 BL 과 마찬가지로 불필요한 입력이 증가하면 성능이 떨어지고 TS-2 (2시간 전 데이터 활용)가 TS-4 (4시간 전까지 활용) 보다 예측률이 높다는 것에서 확인이 됨

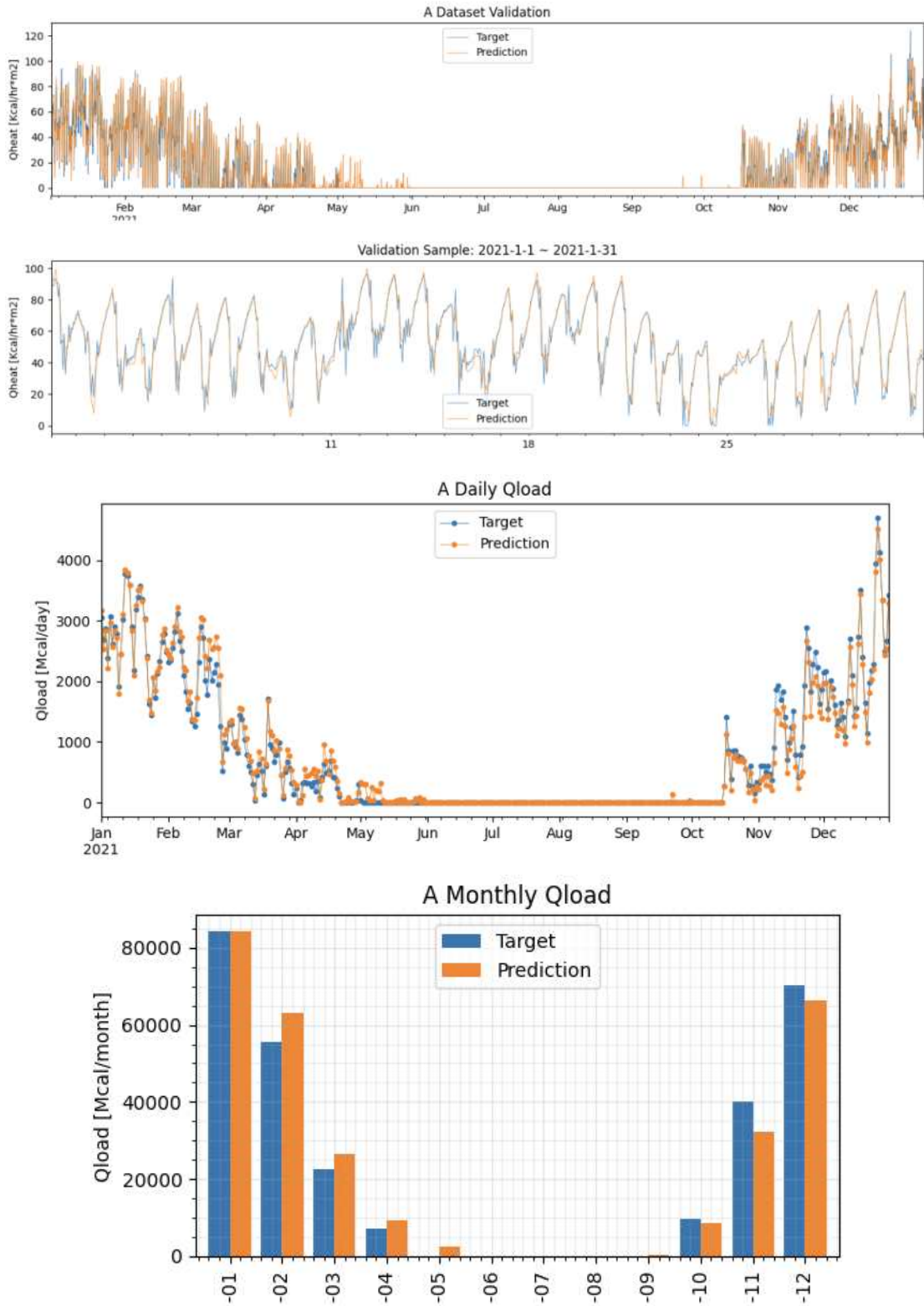
<표 3-6. TS Validation Results>

		Max	MBE	NMBE	MAE	MSE	RMSE	EV	R2
Hourly	TS-2	42.1459	-0.1381	-0.009	2.4108	26.455	5.1434	0.9522	0.9521
	TS-4	46.5464	0.2373	0.0155	2.5292	29.8743	5.4657	0.9459	0.9458
Daily	TS-2	848.4516	-7.159	-0.009	90.7507	23236.8914	152.4365	0.9798	0.9798
	TS-4	638.9639	12.2925	0.0155	97.4589	23732.1518	154.0524	0.9794	0.9793
Monthly	TS-2	8051.43	-217.753	-0.009	2473.359	13740457.4466	3706.8123	0.9842	0.9841
	TS-4	8306.019	373.8965	0.0155	2692.2068	13508062.5017	3675.3316	0.9845	0.9843

(c) TS-2 Detailed Results

: 이 중 예측 성능이 더 높은 TS-2의 예측 그래프들임

: 앞서 BL 에서 보였던 지중온도의 문제들은 여전히 나타나지만 더 감소되었으며, 1월 예시 그래프 "Validation Sample"에서 예측이 더 맞는다는 것이 확인됨



[그림 3-42. TS-2 Detailed Results]

: Time-series로는 모든 이전 시간 ($t-1$, $t-2$, $t-3$, $t-4$) 평행 병렬로 processing하여 일반 deep neural net에 입력 하였지만, 요즘에는 이런 time-series 방식에 조금 더 높은 예측 성능을 내는 LSTM 등의 recurrent neural network들이나 attention transformer network 등 여러 가지 NN들도 활용 가능함

4) Autoregressive NN models

- : 데이터를 time-series 형태로 ANN에 활용한다면 출력 값을 다음 예측의 입력값으로 사용하는 것도 고려해 볼 수가 있는데, 이를 autoregression이라고 부름
- : 예측률은 가장 높지만 TS와 같이 데이터 기록에 의존해야 한다는 단점은 상용화시 고려가 되어야 하며, autoregression에서는 추가로 입력변수로 이전의 Qload가 입력된다는 점도 있음
- : 아래에는 시뮬레이션의 Qheat를 사용하여 결과를 내었지만 보통 autoregression에서는 자신의 예측값을 다시 입력으로 사용하여 복수 time-step으로 미래를 예측하는 것이 일반적임
- : 실제 난방부하 Qload, '정답'인 시뮬레이션의 Qheat, 자신의 예측값인 Qload 외에도, BL 혹은 TS 모델들이 예측한 출력 값들도 혼용하여 사용하는 것이 가능함
- : 시뮬레이션의 Qheat 외의 값들을 사용할 때에는 미래를 멀리 예측할수록 오차가 accumulate 하여 원래 모델의 예측성능으로 수렴하게 되며, 상용화 시에는 시뮬레이션도 한 번씩 사용이 가능할 때 혼용으로 활용 것이 좋음

(a) AR Model Features

- : TS와 마찬가지로 AR도 Qheat만 추가하여 2시간, 4시간 전 데이터를 활용한 AR-2와 AR-4가 있으며, Temp 변수만 제외하고는 거의 순수하게 pattern recognition을 통한 projection으로 예측하는 AR-opt도 추가하였음

<표 3-7. AR Model Features>

	Day_sin/cos	Temp	RH	SR	Ground_temp	Amb_pressure	Wind_dir/speed	Wind_sin/cos	Qheat_A
AR-2	[0]	[012]	[012]	[012]	[012]				[12]
AR-4	[0]	[01234]	[01234]	[01234]	[01234]				[1234]
AR-opt	[0]	[01234]							[1234]

(b) AR Validation Results

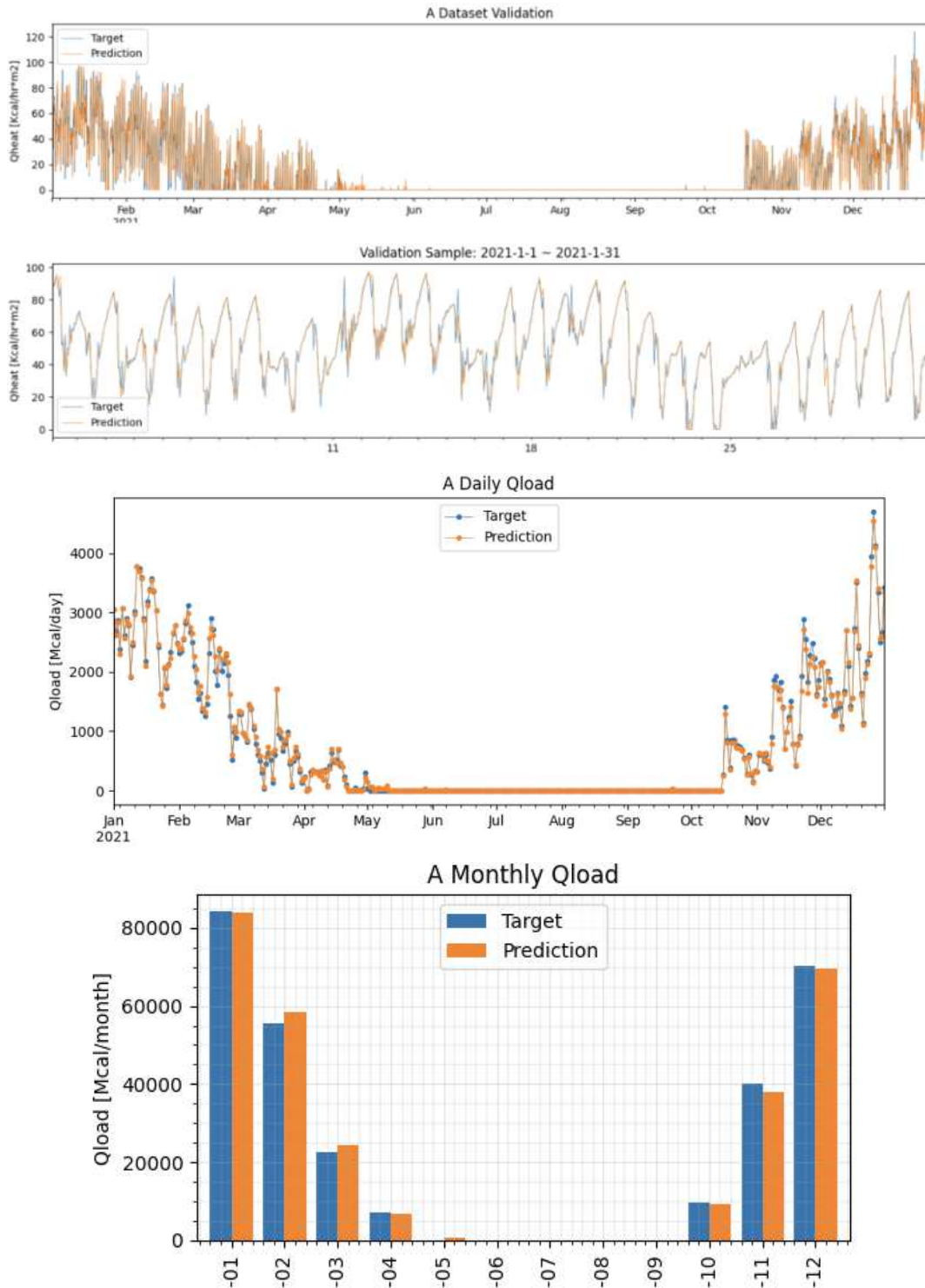
- : 아래는 각기 AR 모델들의 예측 검증 결과임
- : BL이 TS보다 예측률이 훨씬 높은 것을 확인가능하며, 특히 AR-opt의 경우 일조량(SR) 없이도 오직 Temp와 Qheat의 움직임 패턴만으로도 0.97 의 높은 성능이 나오는 것이 확인 가능함

<표 3-8. AR Validation Results>

		Max	MBE	NMBE	MAE	MSE	RMSE	EV	R2
Hourly	AR-2	37.686	-0.0415	-0.0027	1.4307	12.6403	3.5553	0.9771	0.9771
	AR-4	42.384	-0.0827	-0.0054	1.7052	16.5072	4.0629	0.9701	0.9701
	AR-opt	40.4353	0.0397	0.0026	1.3994	12.7897	3.5763	0.9768	0.9768
Daily	AR-2	377.2314	-2.1527	-0.0027	34.13	4044.4624	63.5961	0.9965	0.9965
	AR-4	581.1985	-4.2825	-0.0054	51.2371	10223.2736	101.1102	0.9911	0.9911
	AR-opt	284.4074	2.0554	0.0026	33.1498	3880.5913	62.2944	0.9966	0.9966
Monthly	AR-2	2816.9726	-65.4773	-0.0027	780.8473	1419023.1106	1191.2276	0.9984	0.9984
	AR-4	5698.4512	-130.2581	-0.0054	1446.6253	5682174.9365	2383.7313	0.9934	0.9934
	AR-opt	4139.5969	62.5182	0.0026	897.1008	2178881.0677	1476.1033	0.9975	0.9975

(c) AR-2 Detailed Results

- : AR-2가 예측률이 가장 높았으며, 이에따른 세부사항은 아래 그림과 같음



[그림 3-43. AR-2 Detailed Results]

- : 1월 예시 그래프를 보면 BL과 TS 모델들과는 달리 각 시간 부하량의 미세한 움직임도 포착하여 예측했다는 것이 확인 가능하고, 지중온도 데이터 오류의 영향도 거의 없어진 것이 보임
- : 지중온도를 아예 제거해버린 AR-opt와 비교해보면 2월 한 달의 예측률은 AR-opt의 0.942가 지중온도를 사용하는 AR-2의 0.925보다 높으며, 따라서 AR-opt는 오류의 영향을 받지 않는다는 장점이 있음도 확인이 가능함

5) 알고리즘 적용 Summary

- : 아래는 각 모델들과 시간/일/월별 R2 검증 결과를 간략히 정리한 도표임
- : Autoregressive NN model의 값이 예측 성능이 높은 것으로 판단됨

	Input Features								Validation Metrics			
	Day_sin/cos	Temp	RH	SR	Ground_temp	Amb_pressure	Wind_dir/speed	Wind_sin/cos	Qheat_A	R2 (hr)	R2 (day)	R2 (mo)
BL-raw		[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]			0.8984	0.9388	0.9547
BL-feat	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]		[0]		0.9217	0.9608	0.9716
BL-opt	[0]	[0]	[0]	[0]	[0]					0.943	0.9688	0.9724
TS-2	[0]	[0 1 2]	[0 1 2]	[0 1 2]	[0 1 2]					0.9521	0.9798	0.9841
TS-4	[0]	[0 1 2 3 4]	[0 1 2 3 4]	[0 1 2 3 4]	[0 1 2 3 4]					0.9458	0.9793	0.9843
AR-2	[0]	[0 1 2]	[0 1 2]	[0 1 2]	[0 1 2]			[1 2]		0.9771	0.9965	0.9984
AR-4	[0]	[0 1 2 3 4]	[0 1 2 3 4]	[0 1 2 3 4]	[0 1 2 3 4]			[1 2 3 4]		0.9701	0.9911	0.9934
AR-opt	[0]	[0 1 2 3 4]						[1 2 3 4]		0.9768	0.9966	0.9975

[그림 3-44. 각 모델들과 시간/일/월 별 R2 검증 결과]

- : 예측 성능 이외에도 상용화 때 사용성에 있어서 기록을 사용해야 한다든지(TS, AR), 패턴만으로 예측한다든지, 실제/시물/예측 Qload가 있어야 성능이 높아진다는지(AR), 데이터 오류의 영향을 피할 수 있다든지(AR-opt), 혼용으로 사용한다든지 등 각기 장단점과 고려 사항들이 있음

6) 부하예측 모델을 통한 데모사이트 구축

(a) 사이트 구축

- : 사이트 주소는 <https://janghan.goldenvalley.dev/>에 구축하였으며, 각 분석 리포트 및 그에 따른 부하예측 데모 프로그램을 포함함
- : 각 AI 예측모델별 결과를 볼 수 있도록 사이트를 구축하였으며, 실시간 데이터 수집을 위한 API 구축방법에 대해서도 설명하였음

Greenhouse Project

난방부하량 예측

janghan.goldenvalley.dev (RPI 4b+ Ubuntu 22.04 LTS)

Report

Preliminary Data Analysis

- Dataset
- Data Abnormalities
- Qload Analysis
- Feature Engineering

Result Summary

- Model Features
- Validation Results
- Result Summary

Detailed Model Reports

- [BL-raw](#)
- [BL-feat](#)
- [BL-opt](#)
- [BL-opt \(ver. 2\)](#)
- [TS-2](#)
- [TS-2 \(ver. 2\)](#)
- [TS-4](#)
- [AR-2](#)
- [AR-2 \(ver. 2\)](#)
- [AR-4](#)
- [AR-opt](#)

Demo

Qload Forecast

- BL-opt (ver. 2)
- TS-2 (ver. 2)

Qload Prediction Models

- BL-opt (ver. 2)
- TS-2 (ver. 2)
- AR-2 (ver. 2)
- AR-opt

Weather Data

- Forecast
- Historical

API Documentation

- [OpenAPI \(SwaggerUI\)](#)
- [Redoc](#)
- [Elements](#)
- [RapiDoc](#)
- [RapiPdf](#)

[그림 3-45. 푸르메 실증모델 AI를 이용한 데모 사이트]

(b) 데이터 실시간 수집 방안 구축

: 현재 날씨 예측은 기상기후 빅데이터 분석 플랫폼인 날씨 마루에서 수집하였으며, 46시간 후까지 미리 예측 정보를 받을 수 있음

: <https://bd.kma.go.kr/kma2020/fs/energySelect1.do>에서 API형태로 정보를 받아오도록 프로그램을 만들었음

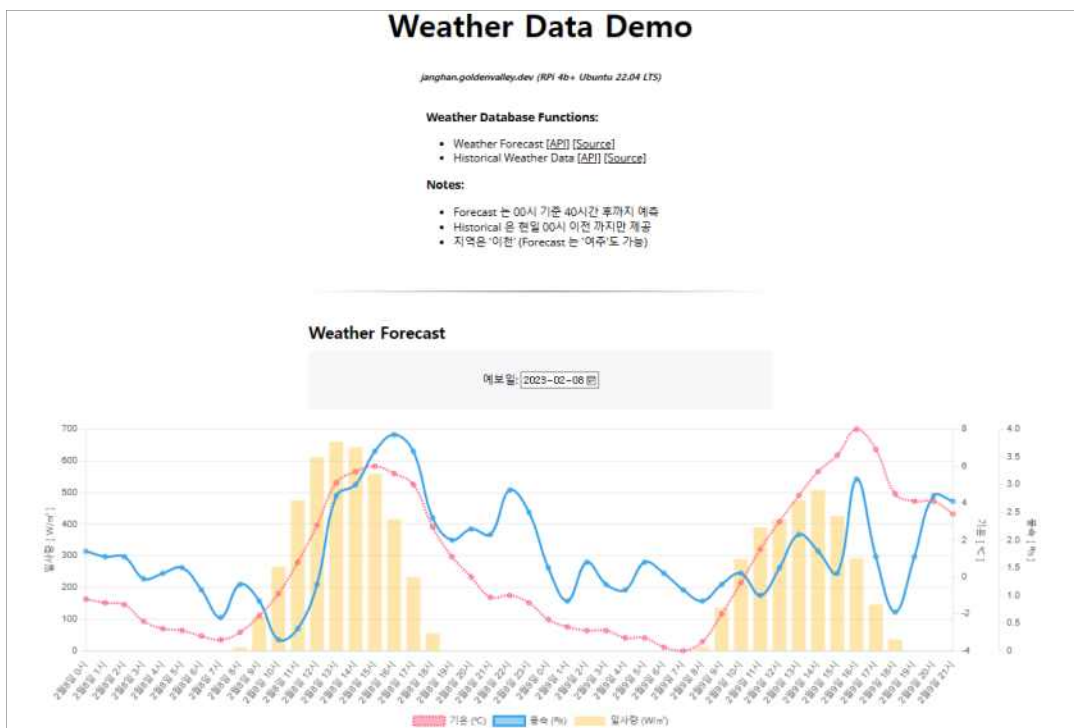
: 일사량, 기온, 풍속을 데이터로 받아오도록 함

: 지역은 '이천'을 기준으로 제공 받음

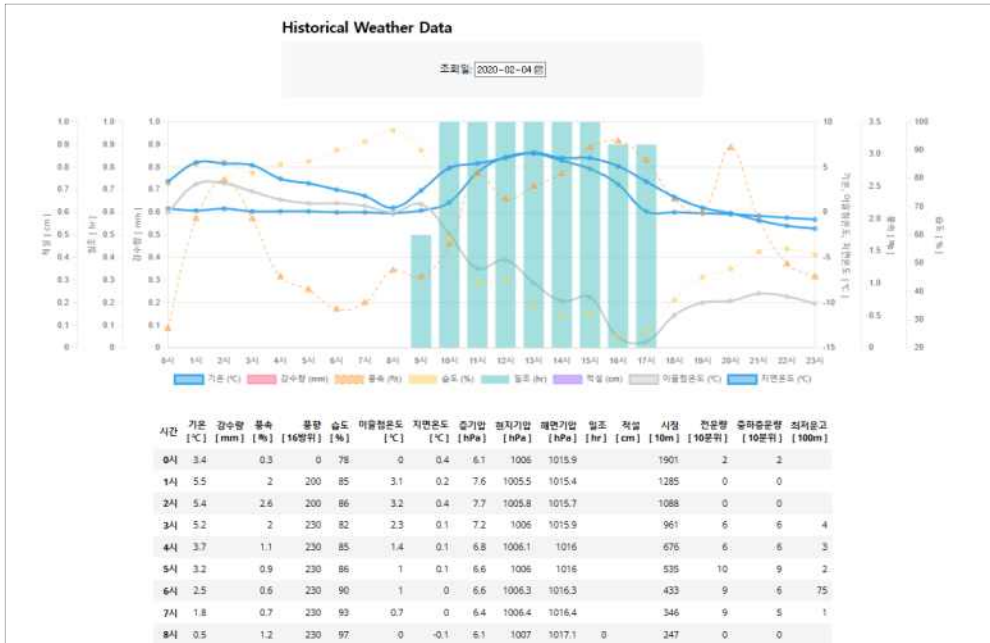


[그림 3-46. 날씨 마루 기상 예측 사이트]

- : 과거 기상 자료는 기상청 기상자료 개방포털을 통해 과거 기상 정보를 조회 가능하도록 하였음
- : 인터넷 주소는 <https://data.kma.go.kr/api/selectApiDetail.do?pgmNo=42&openApiNo=241>이며, open API 형태로 제공받고 있음
- : 제공받는 데이터는 기온[°C], 강수량[mm], 풍속[m/s], 풍향[16방위], 습도[%], 이슬점온도 [°C], 지면온도[°C], 증기압[hPa], 현지기압[hPa], 해면기압[hPa], 일조시간[hr], 적설 [cm], 시정[10m], 전운량[10분위], 중하층운량[10분위], 최저운고[100m]임
- : 이를 통해 기후 예측 사이트를 구축하였으며 그에 따른 사이트 화면은 아래와 같음



[그림 3-47. 자체 개발한 기상 예측 사이트]

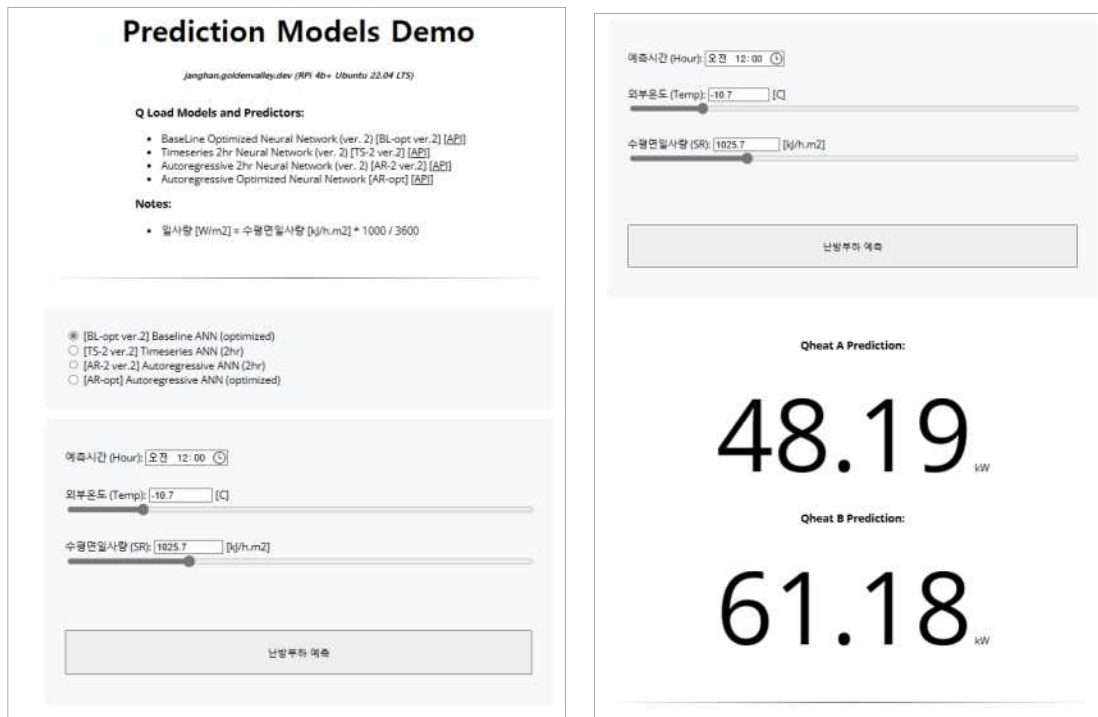


[그림 3-48. 자체 개발한 과거 기상 조회 사이트]

(c) 부하예측 계산기 구축

: AI 분석을 통해 BL, TS, AR1, AR2 등 네 가지 알고리즘으로 예측 시간과 외기온도, 수평면 일사량을 입력하면, 난방부하를 예측할 수 있는 계산기를 구축하였음.

: 각각의 부하모델은 라디오 버튼을 클릭하여 설정할 수 있으며, 아래 그림은 구축된 예측 모델 화면임

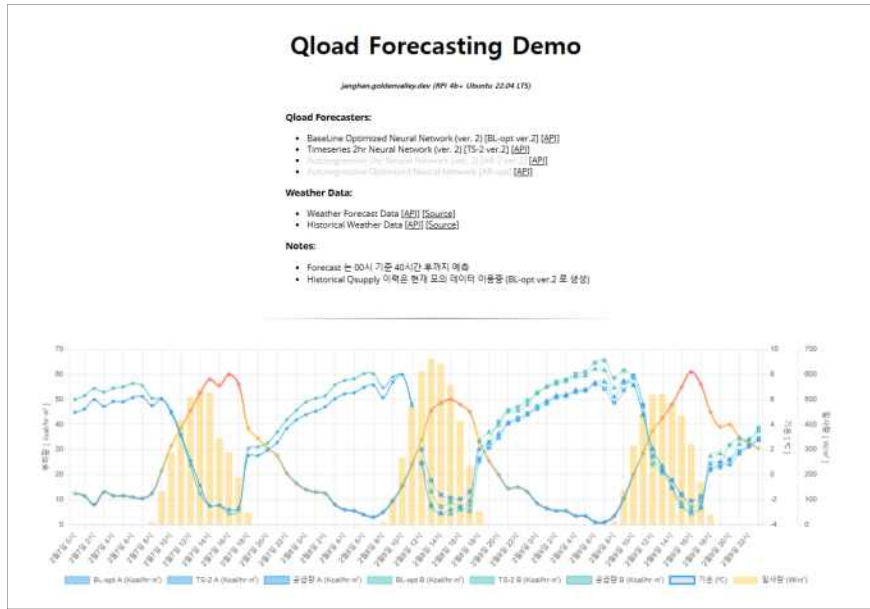


[그림 3-49. 자체 개발한 모델별 부하예측 계산기 사이트 및 결과화면(예)]

(d) 실시간 부하예측 사이트구축

: AI 분석을 통해 가장 실제 부하예측값과 연관성이 높은 BL, TS 등 두 가지 알고리즘을 통해 40시간 이후까지의 부하를 예측할 수 있는 사이트를 개발함

: 시간당 부하량을 제공함으로써 고장진단 및 실시간 최적제어의 기반을 마련하였음



[그림 3-50. 자체 개발한 실시간 부하예측 사이트 결과화면]

- : Forecast 는 00시 기준 40시간 후까지 예측하도록 구성되어 있으며 시간당 부하를 따로 나열하고 알고리즘 별 부하량을 따로 표시해 줌
- : 아래는 시간당 부하예측 결과를 보여주는 화면으로, 2월 8일 기준 2일간의 부하를 미리 예측한 결과임
- : 향후 건물이나 난방부하를 필요로 하는 모든 건물에 쓰일 수 있는 부하예측 시뮬레이션 엔진을 완성함으로써, AI를 통한 최적제어의 가능성을 볼 수 있음

시간	BL-opt A [Kcal/hr-m]	TS-2 A [Kcal/hr-m]	AR-2 A [Kcal/hr-m]	AR-opt A [Kcal/hr-m]	BL-opt B [Kcal/hr-m]	TS-2 B [Kcal/hr-m]	AR-2 B [Kcal/hr-m]	AR-opt B [Kcal/hr-m]	기준 [°C]	일사량 [W/m]
2월8일 12시	24.638	29.993			24.896	24.373			2.8	612.4
2월8일 13시	7.521	17.739			7.087	13.233			5.1	660.4
2월8일 14시	4.667	11.926			4.372	7.173			5.7	643.4
2월8일 15시	5.960	10.773			4.342	8.969			6	558.8
2월8일 16시	7.208	10.244			5.884	6.851			5.6	415.5
2월8일 17시	9.633	13.275			7.781	5.450			5	233.1
2월8일 18시	30.023	26.359			33.243	25.161			2.7	54.7
2월8일 19시	32.619	30.711			36.847	32.918			1.1	0
2월8일 20시	36.213	34.624			39.682	41.106			0	0
2월8일 21시	40.514	40.420			45.165	45.663			-1.1	0
2월8일 22시	41.629	42.589			45.440	47.011			-1	0
2월8일 23시	43.875	44.423			47.900	49.600			-1.4	0
2월9일 0시	47.397	46.269			52.727	52.413			-2.3	0
2월9일 1시	49.345	48.382			54.986	55.066			-2.7	0
2월9일 2시	51.529	50.767			56.142	57.063			-2.9	0
2월9일 3시	51.898	51.371			57.249	57.992			-3.9	0
2월9일 4시	53.746	52.963			59.668	60.171			-3.3	0
2월9일 5시	53.633	53.537			59.462	60.964			-3.3	0
2월9일 6시	56.632	56.062			62.094	64.662			-3.8	0
2월9일 7시	56.947	54.201			61.578	65.514			-3.8	0
2월9일 8시	50.539	-48.732			-54.542	58.581			-3.3	13.7
2월9일 9시	56.651	53.624			57.588	61.560			-1.9	141.3
2월9일 10시	55.544	58.578			55.713	58.497			0	316.4
2월9일 11시	43.673	47.818			44.029	47.214			1.7	468.6
2월9일 12시	30.084	27.267			30.332	24.229			3.5	516.7
2월9일 13시	23.403	21.643			22.186	20.732			4.5	523.3
2월9일 14시	14.941	17.719			14.472	17.728			5.6	486.7
2월9일 15시	7.149	11.801			8.796	12.295			7	435
2월9일 16시	5.437	9.531			4.264	7.080			8.2	321.6
2월9일 17시	7.279	11.293			6.552	9.481			7.2	169.7
2월9일 18시	24.280	21.838			27.303	22.336			5	41
2월9일 19시	25.122	22.969			28.347	24.178			3.8	0
2월9일 20시	23.925	25.736			26.240	31.790			4	0
2월9일 21시	28.304	29.330			32.083	34.315			3	0
2월9일 22시	31.157	31.609			34.078	33.852			2.5	0
2월9일 23시	33.659	34.471			37.333	38.605			2.1	0

[그림 3-51. 자체 개발한 실시간 시간당 부하예측 결과화면]

- 고장 진단 기술 개발을 위한 통합 모니터링 시스템 완성

1) 모니터링 포인트(센서) 선정

(a) 열부하 사용측 센서 모니터링

: 열부하 사용측을 모니터링할 센서와 센서내역 및 정보를 아래와 같이 선정하여, 열교환 시의 유량과 온도차를 통해 열량부하를 확인할 수 있도록 함

<표 3-9. 열부하 센서 모니터링 테이블 작성>

시스템 구분	센서종류	센서번호	MODBUS ADDR	센서목적	중요도
열사용	온도센서	T-F07	300401	열교환기(HX-06) 1차측 입구	1
		T-F08	300403	열교환기(HX-06) 1차측 출구	1
		T-M10	300405	열교환기(HX-06) 2차측 출구	1
		T-M11	300407	열교환기(HX-06) 2차측 입구	1
	유량계	FM-02	300109	열사용 유량	1

(b) PVT측 센서 모니터링

: PVT측을 모니터링할 센서와 센서내역 및 정보를 아래와 같이 선정함

<표 3-10. PVT 센서 모니터링 테이블 작성>

시스템 구분	센서종류	센서번호	MODBUS ADDR	센서목적	중요도
PVT	온도센서	T-S4	300359	열교환기(HX-03) 1차측 입구	기 존 적 용
		T-S5	300361	열교환기(HX-03) 1차측 출구	
		T-S11	300373	열교환기(HX-03) 2차측 출구	
		T-S12	300375	열교환기(HX-03) 2차측 입구	
		T-vtc-1	300427	PVT 입구	
		T-vtc-2	300429	PVT 출구 #1	
	T-vtc-3	300431	PVT 출구 #2		
	압력센서	P-S5	300073	1차측 압력	
	유량계	FS-05	300011		
	일사량	I-S6	300425	일사량	
펌프상태	PP-05	300459	전력량 측정		

(c) 태양열 집열기(Solar Collector) 센서 모니터링

: 태양열 집열기측을 모니터링할 센서와 센서내역 및 정보를 아래와 같이 선정함

<표 3-11. 태양열 집열기(Solar Collector) 센서 모니터링 테이블 작성>

시스템 구분	센서종류	센서번호	MODBUS ADDR	센서목적	중요도
SC	온도센서	T-S01	300353	열교환기(HX-01) 1차측 입구	1
		T-S02	300355	열교환기(HX-01) 1차측 출구	1
		T-S03	300357	열교환기(HX-02) 1차측 출구	1
		T-S06	300363	열교환기(HX-01) 2차측 출구	2
		T-S08	300367	열교환기(HX-01) 2차측 입구	2
		T-S09	300369	열교환기(HX-02) 2차측 출구	2
		T-S10	300371	열교환기(HX-02) 2차측 입구	2
		T-SC1	300395	집열기 온도	2
	압력센서	P-S1	300065	1차측 압력	1
	유량계	FS-01	300003	1차측 유량	1
	일사량	I-S1	300409	일사량	1

(d) NTES측 센서 모니터링

: NTES측을 모니터링할 센서와 센서내역 및 정보를 아래와 같이 선정함

<표 3-12. NTES 센서 모니터링 테이블 작성>

시스템 구분	센서종류	센서번호	MODBUS ADDR	센서목적	중요도
NTES	온도센서	T-N1	300241	NTES 상층온도	1
		T-N3	300245	NTES 중층온도	2
		T-N5	300249	NTES 하층온도	1
	수위센서	HIGH/LOW	DI	NTES 누수경보	1

(e) TTES측 센서 모니터링

: TTES측을 모니터링할 센서와 센서내역 및 정보를 아래와 같이 선정함

<표 3-13. TTES 센서 모니터링 테이블 작성>

시스템 구분	센서종류	센서번호	MODBUS ADDR	센서목적	중요도
TTES	온도센서	T-T01	300377	TTES 상층온도	1
		T-T09	300391	TTES 하층온도	1

(f) STES측 센서 모니터링

: STES측을 모니터링할 센서와 센서내역 및 정보를 아래와 같이 선정함

<표 3 -14. STES 센서 모니터링 테이블 작성>

시스템 구분	센서종류	센서번호	MODBUS ADDR	센서목적	중요도
STTS-s1	온도센서	T-ST-1	300251	STTS-s1 상층온도	1
		T-ST-3	300255	STTS-s1 하층온도	1
	수위센서	HIGH/LOW		STTS-s1 누수경보	1
STTS-p1	온도센서	T-ST-4	300257	STTS-p1 상층온도	1
		T-ST-5	300259	STTS-p1 하층온도	1
	수위센서	HIGH/LOW		STTS-p1 누수경보	1

(g) BTES측 센서 모니터링

: BTES측을 모니터링할 센서와 센서내역 및 정보를 아래와 같이 선정함

<표 3-15. BTES 센서 모니터링 테이블 작성>

시스템 구분	센서종류	센서번호	MODBUS ADDR	센서목적	중요도
BTES	온도센서	RTD1_2	300163	지중온도 155 / -10m	2
		RTD1_3	300165	지중온도 155 / -20m	2
		RTD1_4	300167	지중온도 155 / -30m	2
		RTD1_5	300169	지중온도 155 / -40m	2

(h) 히트펌프측 모니터링

: 히트펌프측을 모니터링할 센서와 센서내역 및 정보를 아래와 같이 선정함

<표 3-16. 히트펌프 모니터링 테이블 작성>

시스템 구분	센서종류	센서번호	MODBUS ADDR	센서목적	중요도
히트펌프	전력량	HP1-A	%MW20506	히트펌프 소비전력	2
		HP1-B	%MW20510		2
		HP2-A	%MW20514		2
		HP2-B	%MW20518		2
		HP3-A	%MW20522		2
		HP3-B	%MW20526		2

: 그 외 태양광 발전량에 대한 정보를 측정하기로 하였으며, 2차년도 RTU 측정 포인트 11개 대비 3차년도 측정포인트를 50개로 증가시킴

<표 3-17. RTU 측정 포인트>

RTU 측정 포인트	
기존 포인트	11
추가 포인트	39
총 포인트	50

2) RTU 모니터링 모듈 제작 및 설치

(a) RTU모듈 제작

: 마이크로 컨트롤러는 espressif社의 SoC인 ESP32를 사용하는데, 초저전력 설계로 IoT기기에 적합하며 각종 I/O 인터페이스를 내장하고 있을 뿐 아니라, Wi-Fi와 Bluetooth기능까지 포함하고 있는 고집적 모듈임

: 현장에서 장치 설정 등으로 활용할 수 있도록 USB 인터페이스를 추가하였으며, 별도의 PC 프로그램을 제작하여 장치와 데이터 통신을 구현함

: RS485인터페이스 Modbus-RTU 프로토콜로 외부장치들과 데이터통신을 할 수 있도록 설계하였음

(b) RTU모듈 설치

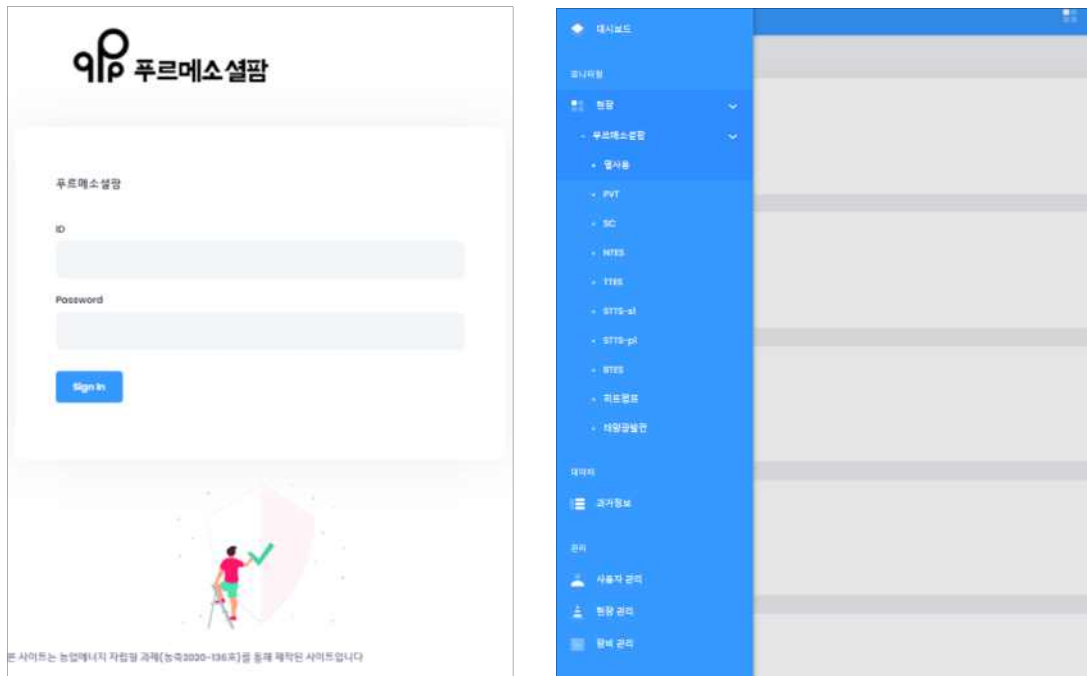
: 여주 실증단지 현장에 설치하여 MODEBUS 통신을 IOT 통신망으로 송신하며, LTE CAT. M1 모뎀으로 데이터서버와 무선통신을 함



[그림 3-52. RTU 모듈 내부 및 RTU 설치 사진]

3) IOT 모니터링 시스템 구축

: 전체 로그인 화면과 대시보드를 다음과 같이 구축함(농림부 지원과제 구축 사이트임을 표기)

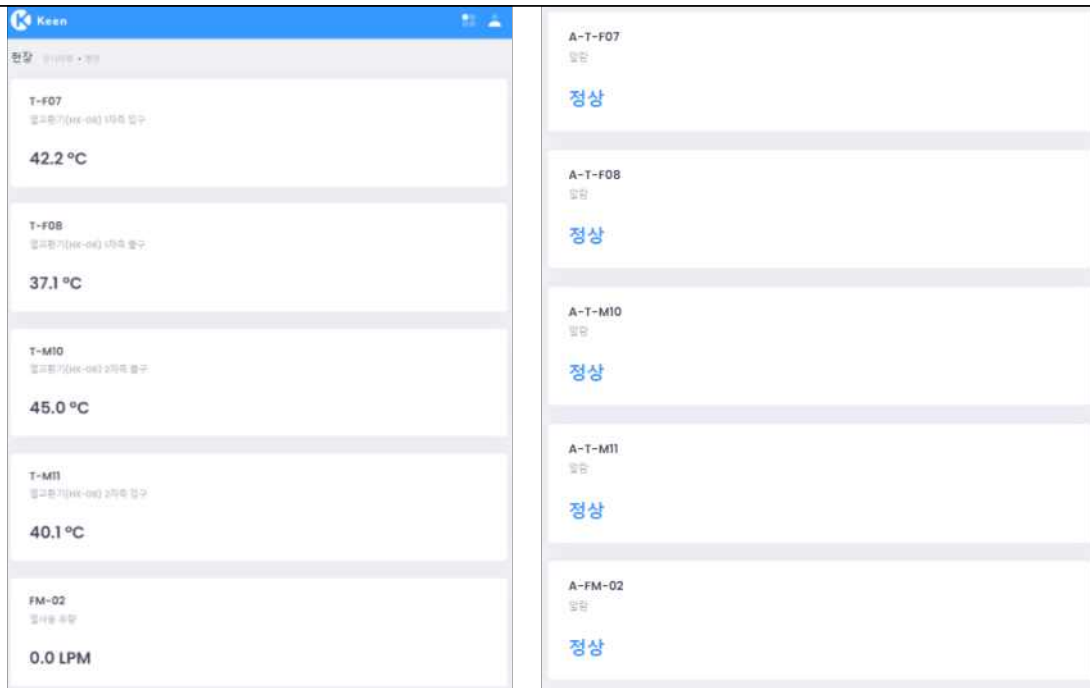


[그림 3-53. 푸르메 실증단지 IOT 모니터링 로그인 화면 및 대시보드]

(a) 열부하 사용측 모니터링 시스템

: 열부하 모니터링 UI를 아래와 같이 완성하여 관련 센서의 위치와 센서번호 그리고 현재 상태를 나타냄

: 각각의 센서에 대한 현재 상태가 정상인지 알람인지 여부를 알려주고 있으며, 이를 통해 원격으로 온실의 열공급 또는 냉방공급 상태를 확인 할 수 있음



[그림 3-54. 푸르메 실증단지 IOT 모니터링 각 센서 값의 정상여부 및 고장여부 표시화면]

(b) PVT측 센서 모니터링 및 각 시스템 화면들

: PVT 모니터링 UI를 아래와 같이 구축 완료하였으며, 같은 형식으로 나머지 시스템 화면도 완성함

: 각 시스템마다 화면이 비슷하여 다음의 URL로 소개하며, <http://histfarm.com:7004> 로 로그인 하면 확인할 수 있음.

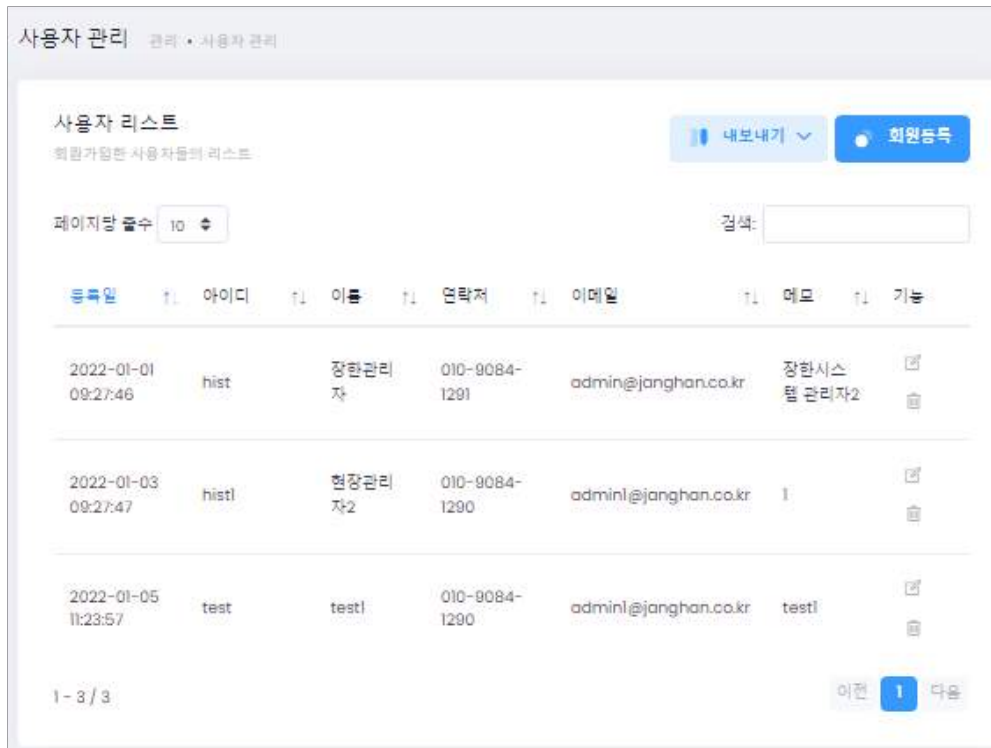


[그림 3-55. PVT 센서 모니터링 화면]

(c) 사용자 관리 및 시스템 제어 화면

: 사용자 관리 화면은 다음과 같이 구성하여 사용자의 리스트와 연락처 현장 연락을 관리 할 수 있도록 함

: 전체 시스템을 제어하는 부분은 모니터링에서보다는 PLC 원격형태로 구성하였으며, 펌프 등 각각의 컴포넌트를 제어할 수 있음



[그림 3-56. 사용자 관리 화면 구성]

- **구축 설비의 사후관리 및 유지보수 지원 방안 제시**

- 유지보수를 위한 방문 및 원격 모니터링
- 유지보수 비용을 위한 농장주의 월유지보수비용 책정 및 적립
- 유지보수를 위한 spare part 준비

- **시뮬레이션을 이용한 설치환경(지역별/부하패턴별)에 따른 최적 운전방안 제시**

- 여주 및 목포 지역 기반 운전부하 시뮬레이션 및 최적 운전방안 제시(토마토 기준)
 - : 시뮬레이션은 각각 컴포넌트에 대한 물리모델을 기반으로 하였으며, 난방부하 시뮬레이션의 경우 아래와 같은 방법으로 계산함
 - : 이 때 온실의 토양전열계수는 아래 표를 참고하여 설정하였으며, 피복제는 종류에 따라 아래와 같은 열관류율을 가짐

$$Q = [A_s (q_s + q_r) + A_f q_w] f_w \quad (1)$$

Q : 난방부하량(kcal/h)

A_s : 온실 피복면적(m²)

A_f : 온실 바닥면적(m²)

f_w : 풍속에 의한 보정계수(일반지역 1.0 강풍지역 1.1)

q_s : 단위피복면적당 관류열손실량. (kcal/m²h)

$$q_s = h_i (T_i - T_a) (1 - f_r) \quad (2)$$

h_i : 피복재의 관류열전달계수(kcal/m²h°C, PE필름 5.7, PO필름 5.5)

T_i : 난방설정온도(°C)

T_a : 설계외기온 또는 외기온(°C)

f_r : 보온피복 종류별 열절감률

q_r : 환기에 의한 열손실량(kcal/m²h)

$$q_r = h_v (T_i - T_a) \quad (3)$$

h_v : 환기전열계수(kcal/m²h°C, 일반 플라스틱 온실 0.3 보온피복이 있는 플라스틱 온실 0.1)

q_s : 단위면적당 토양전열량(kcal/m²h)

<표 3-18. 온실의 토양전열계수>

보온피복	없음		있음	
	남부 (kcal/m ² °C)	중부 (kcal/m ² °C)	남부 (kcal/m ² °C)	중부 (kcal/m ² °C)
실내외 기온차(°C)				
10	-20	-15	-15	-10
15	-10	-5	-5	0
20	0	5	5	5.0

<표 3-19. 피복재의 열관류율>

번호	피복재 (두께:mm)	열관류율 (W/m ² ·°C)	난방부하계수 (kcal/h·m ² ·°C)
1	PE필름(0.08)	6.6	5.7
2	PE필름(0.10)	6.2	5.3
3	PE필름(0.15)	5.6	4.8
4	PO필름(0.08)	6.0	5.2
5	PO필름(0.10)	5.2	4.5
6	PO필름(0.15)	5.1	4.4
7	EVA필름(0.10)	6.2	5.3
8	EVA필름(0.08)	6.4	5.5
9	EVA필름(0.05)	6.6	5.7
10	PVC	6.6	5.7(농업시설공학)
11	유리	6.2	5.3(농업시설공학)
12	불소필름	6.6	5.7

: 푸르메 온실의 적용된 아사히 필름의 사양은 아래와 같음(투과율 92%, 불소계열 필름)

機械特性

項目	測定法	単位	エフクリーン*自然光 100μm	PET 150μm	高PO 150μm	高ビ 100μm
引張強度	JIS K7127	MPa	60	230	35	25
引張伸び	JIS K7127	%	406	81	600	340
エルメントルフ 引張試験	JIS K7128	N	21	1	10	9
直角型引張強度	JIS K7128	N/mm	214	387	128	76

*データは実測値であり、保証値ではありません。

物性一覧

化学式	$-(C_2H_2)_m-(C_2F_2)_n-$	化学名	ETFE (4フッ化エチレン-エチレン共重合体)
比重	1.75	連続使用温度	-100℃~ +150℃
融点	260℃	熱貫流率	0.6W/m ² ・K (1層 100μm) 3.6W/m ² ・K (2層 100μm+60μm)
線膨張係数	1 × 10 ⁻⁴ (0.01% /℃)	自己消火性	JIS A 1322 試験結果「防炎1級」に合格しています。
耐薬液性 (赤色耐性)	100度	耐薬液性	強酸性や強アルカリ性の化学物質・薬品にもほとんど影響されません。

*試験データはAGCの測定データによる。

品種

品種	特徴
エフクリーン*自然光	太陽光線をそのまま取り入れ、屋外と同様の光環境になります。
エフクリーン*自然光ナシ	光線透過率を低下させずに、高い遮光率を実現します。
エフクリーン*GRシリーズ	ニーズに合わせて紫外線カット率の異なる3つのグレードを取り揃えています。
エフクリーン*GRナシ	ナシの特徴と紫外線カットを組み合わせたフッ素フィルムです。
エフクリーン*グレー	太陽光線を95パーセントカットしたグレー色のフッ素フィルムです。
エフクリーン*ソフトシャイン	ほのかに明るさと高い熱線カット率を併せ持つホワイトフッ素フィルムです。

AGCグリーンテック株式会社 本社 〒111-8617 東京都千代田区北千代 3-10-4
AGCグリーンテックビル
TEL 03-5433-5451 FAX 03-5433-5457
<http://www.f-clean.com>
東日本営業所 〒317-0232 埼玉県加須市北千代 3-1-1
TEL 0485-25-8227 FAX 0485-25-8227
西日本営業所 〒442-0805 愛知県豊田市長瀬子町南 22-4
TEL 053-433-4100 FAX 053-433-4110
南日本営業所 〒870-0847 福岡県大牟田市 2-1-1
TEL 0943-25-4712 FAX 0943-43-8731

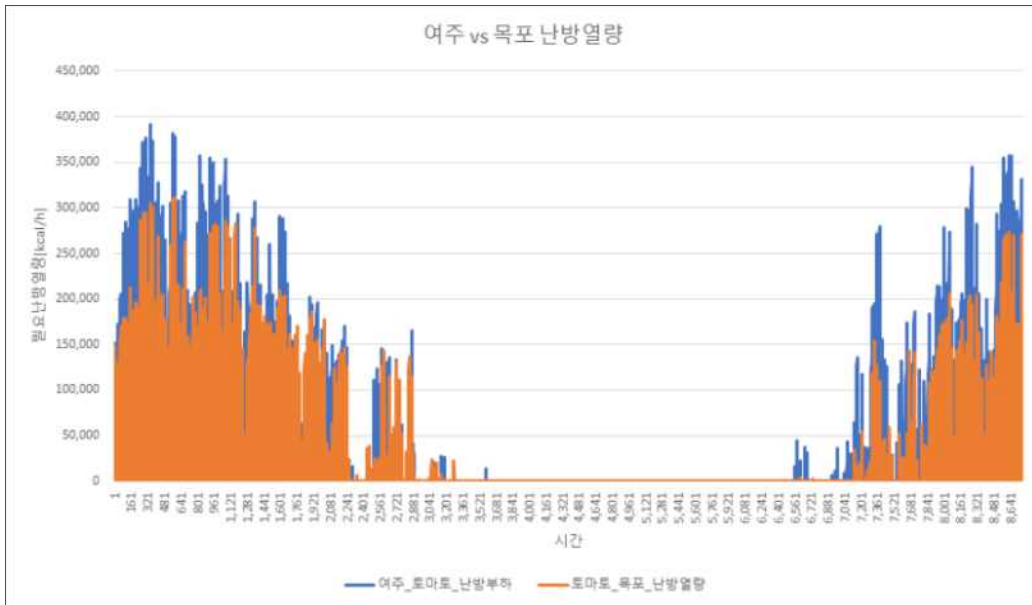
[그림 3-57. 아사히 필름의 사양]

1) 난방부하

- : 물리모델기반으로 시뮬레이션한 여주와 목포간의 토마토 재배 시 필요한 난방열량은 아래 표와 같으며, 그래프로 나타내면 다음과 같음
- : 온실 태양복사는 목포가 16% 더 많으며, 연간 난방열량은 여주가 1.55배 많음
- : 이로 인해 연간 태양에너지 수집대비 활용 비율은 목포의 경우 145%로 실제 태양에너지 설비용량을 줄일 수 있음
- : 즉, 기후환경이 상대적으로 우수한 목포의 동일한 온실에 본 시스템을 적용하는 경우, 기존 설비용량 대비 65%정도로 줄일 수 있어 경제성에 있어 큰 장점이 있을 것으로 예상됨

<표 3-20. 지역에 따른 필요 난방열량>

구분	태양에너지 활용비율[%]	온실태양 복사열량 [kcal/h]	최대난방 열량 [kcal/h]	연간필요 난방열량 [kcal]
여주	82.68	3,778,514,243	391,041	399,365,942
목포	145.94	4,366,344,367	311,874	257,970,387



[그림 3-58. 지역에 따른 필요 난방열량]

2) 신재생 에너지 획득에 있어서 PVT의 시뮬레이션 결과

: PVT 연간 집열량과 전기생산량 모두 목포가 유리한 것으로 보이며, 다만 PVT의 연 평균 효율은 여주보다 낮는데 이는 목포의 풍속이 4.2 m/s으로 여주대비 약 1.7배 높은 것이 원인인 것으로 파악되었음

<표 3-21. 지역에 따른 PVT 전기생산량>

구분	연간 총일사량 [kcal/m ²]	PVT 연평균 효율[%]	PVT 총집열량 [kcal]	PVT 전기생산량 [kcal]	연간 평균 풍속[m/s]
여주	1,041,877	39.81%	107,839,741	54,177,625	2.44
목포	1,203,964	34.11%	106,784,600	62,606,133	4.20

3) 태양열 집열기의 집열성능에 대한 시뮬레이션 결과

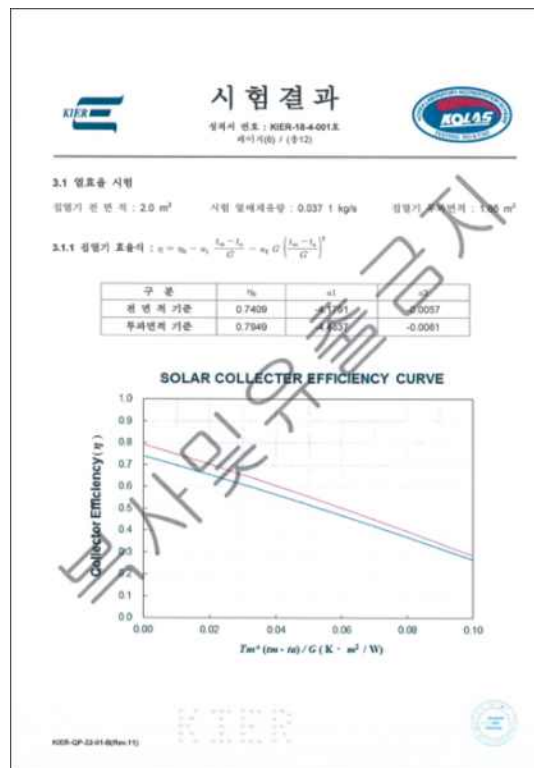
: 태양열 시뮬레이션에 쓰인 근거 시험결과는 아래와 같으며, 실제 현장에 적용된 태양열 집열기의 시험성적서는 다음과 같은데, 태양열 집열기의 경우 풍속의 영향이 PVT보다는 낮은 관계로 목포에서의 연평균 효율이 더 높음

: 또한 평균 집열효율의 경우 목포기준 PVT보다 1.3배 높으며, PVT의 전기생산 효율이

20%임을 감안하면 54%(PVT_목포) 대비 태양열 45%로 PVT가 더 높은 효율을 나타냄

<표 3-22. 지역에 따른 태양열 총생산량>

구분	연간 총일사량 [kcal/m ²]	태양열 연평균효율	태양열 총생산량 [kcal]	연간 평균 풍속[m/s]
여주	1,041,877	43.85%	274,112,894	2.44
목포	1,203,964	44.76%	323,339,944	4.20



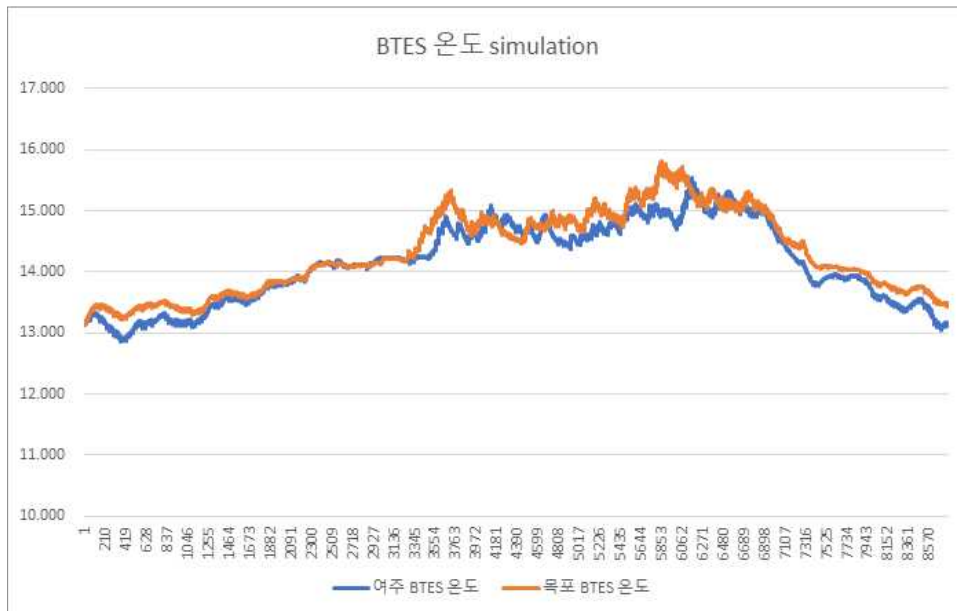
[그림 3-59. 태양열 집열기의 성능 시험성적서(일부)]

4) 축열관련 BTES

: 여주의 경우 매년 생산된 열량을 거의 다 사용할 것으로 보이며, 목포의 경우 매년 계속 BTES 온도가 증가할 것으로 판단됨

<표 3-23. 지역에 따른 지중 축열온도>

구분	최고 축열온도	최저 축열온도	연간 축열온도 증가
여주	19.2	11.8	-0.3
목포	20.2	12.6	0.7



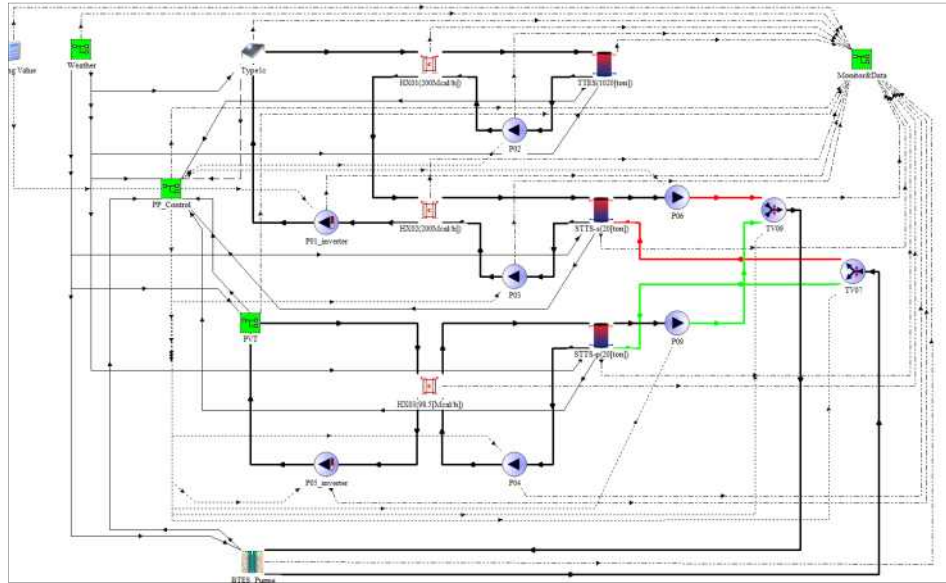
[그림 3-60. 여주 및 목포 BTES 온도 시뮬레이션]

- (부하패턴별_목표 기준 과실 변경) 목포 지역 기반 파프리카 vs. 토마토 운전부하 시뮬레이션 및 최적 운전방안 제시
 - : 파프리카는 20°C의 목표온도를 제시하고 토마토는 15°C로 제시하여, 이에 따른 운전부하를 시뮬레이션 함
 - : 파프리카의 경우 목포 기준으로 1.85배 많은 열량을 필요로 하는 것으로 시뮬레이션됨
 - : 겨울 온실의 경우, 5°C의 난방 목표온도 차이가 매우 큰 난방부하 차이를 나타내는 것으로 보이며, 경제성을 고려할 때도 목표온도 1~2°C의 차이가 매우 큰 결과의 변화를 보여 줄 수 있음을 시뮬레이션을 통해서 확인 할 수 있음
 - : 파프리카의 난방열량이 큰 것은 사실이나, 여주의 토마토 온실과 비교하였을 때 태양에너지 활용비율이 84%로 여주의 82%와 비슷한 결과를 확인 할 수 있음
 - : 신재생에너지 활용을 통해 난방에 많은 부분 도움 받을 수 있음을 확인 할 수 있음

<표 3-24. 작물별 필요 난방열량>

구분 (목포기준)	태양에너지 활용비율[%]	온실 태양 복사 열량[kcal/h]	최대 난방 열량[kcal/h]	연간 필요 난방 열량[kcal]
파프리카	84.54	4,366,344,367	374,705	478,231,993
토마토	144.37	4,366,344,367	311,874	257,970,387

- TRNSYS 기반 모델 시뮬레이션
 - 1) TRNSYS 기반 축열부 시뮬레이션
 - : 아래와 같이 축열부 TRNSYS 시뮬레이션을 진행함
 - : 축열운전의 최적화를 위해, BTES와 TTES 중 어느 계간축열조에 먼저 열을 저장해야 BTES 저장효율이 상승되는지 예측하기 위해, TRNSYS 이용 각각의 경우에 대하여 시뮬레이션 함
 - : 이 시뮬레이션을 위해 다음 조건을 가정함

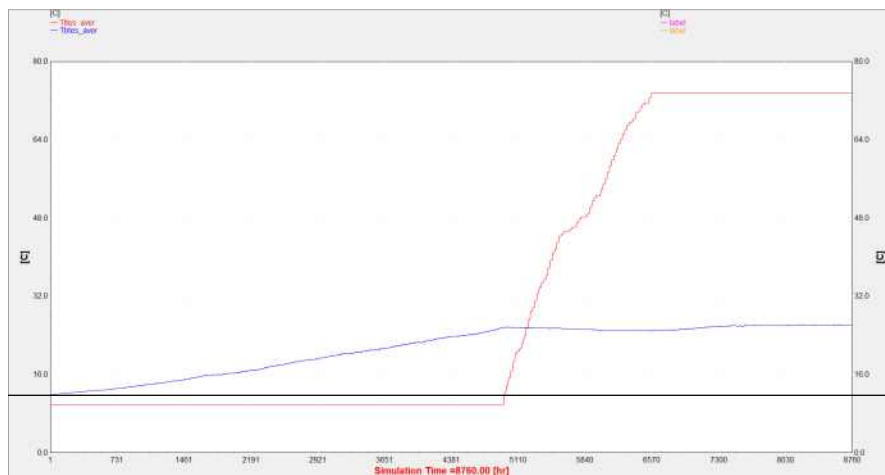


[그림 3-61. 설비부분 컴포넌트 구성]

(a) 난방시기는 10월 1일부터 시작하며, TTES 축열은 9월 31일까지 70°C 이상으로 완
 충되어야 함

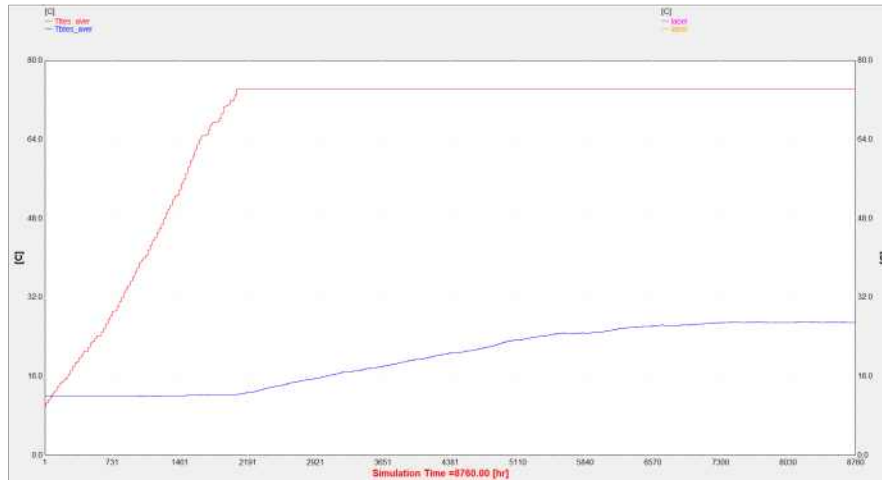
(b) BTES 초기 지중온도는 12°C이며, TTES, STTS-s1, STTS-p1의 초기온도는 10°C
 임

: BTES 우선 축열시 TTES와 BTES 온도변화 시뮬레이션 화면은 다음과 같음



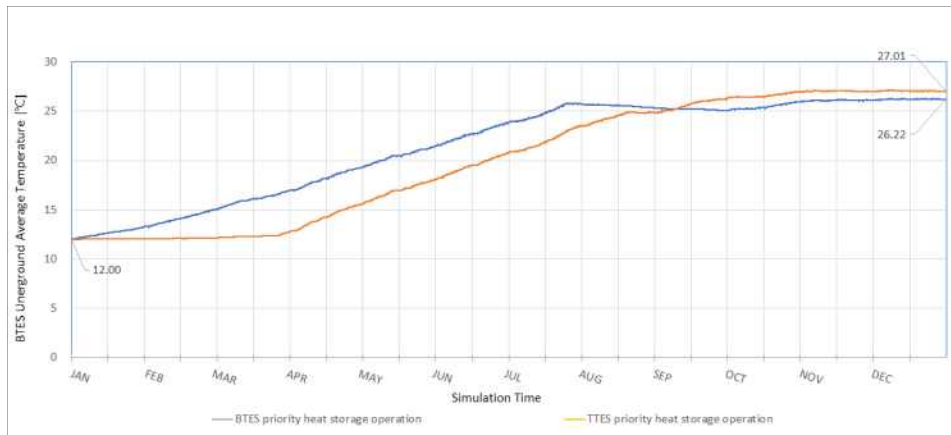
[그림 3-62. BTES 우선축열 시 BTES(파랑) 및 TTES(빨강) 온도 변화]

: TTES 우선 축열시 TTES와 BTES 온도변화 시뮬레이션 화면은 다음과 같음



[그림 3-63. TTES 우선축열 시 BTES(파랑) 및 TTES(빨강) 온도 변화]

: 각 우선 축열 운전시 BTES 평균 지중온도 변화그래프는 다음과 같음



[그림 3-64. TTES우선(주황) vs. BTES우선 축열(파랑)시 BTES 온도 변화]

- : BTES 우선 운전 시 각 계간축열조 내 저장된 최종 평균온도는 TTES 73.6°C, BTES 26.2°C이고, TTES 우선 운전 시 각 계간축열조 내 저장된 최종 평균온도는 TTES 74.3°C, BTES 27.0°C였음
- : 시뮬레이션 결과값으로 판단 시 TTES 우선 운전의 경우 BTES에 저장되는 최종온도가 BTES 우선 운전 대비 0.81°C(5.6%) 더 많이 저장 되는 것을 확인하였음
- : 이는 여주지역 기상데이터 외에 서울지역 기상데이터를 이용한 시뮬레이션 또한 동일하게 TTES 우선 저장이 BTES의 저장 효율이 더 상승되는 경향을 나타냄

• **보급 확대를 위한 비즈니스 모델 개발**

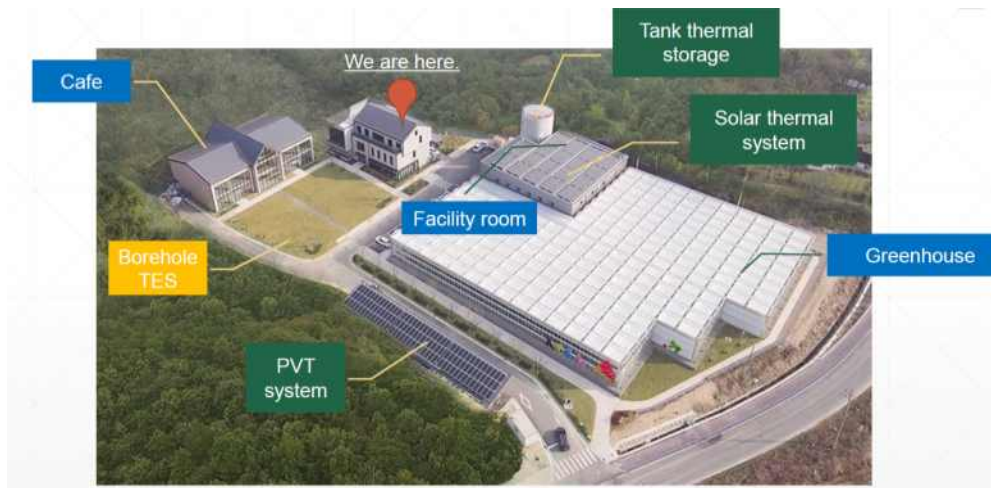
- PVT와 태양열, BTES 및 TTES 축열 기반 비즈니스 모델

- : 본 과제에서 만든 비즈니스 모델이며, 요소기술들은 충분히 분할하여 현장에 적용 가능할 것으로 보임
- : 통합 시스템 모델의 경우는 비용적 측면이나 규모면에서 조금 더 경제적인 부분을 고려한 모델로 부분 수정이 필요함
- : 본 과제 실증단지의 경우 BTES를 설치할 수 있는 공간이 확보 가능하여 BTES 설치 및 공사가 수월하게 진행되었음

: 이렇게 유희공간을 가진 온실의 경우 본 과제와 마찬가지로 PVT와 태양열, BTES 및 TTES 축열 기반의 비즈니스 모델을 적용할 수 있음

: 이를 위해 파주의 화훼농장을 PVT와 태양열, BTES 및 TTES 설치 가능 여부를 확인하고 기술 소개 및 적용을 제안하였으며, 농장주의 의견은 다음과 같음

- 1) 태양광이나 태양열 및 BTES의 설치를 위한 유희공간은 있으나 향후 토지 활용을 고려할 때 적용하기에는 부담스러움
- 2) 농업용 전기를 생각할 때 현실적으로 신재생에너지 설치비용에 대한 부담이 있음
- 3) PVT나 태양열의 요소기술들은 경제성이 있어 보여서 향후 설치 고려대상으로 생각하며, 축열 부분도 경제적인 지원이 있다면 고려해 볼 수 있음
- 4) 타 신재생원과 동일하게 PVT 또한 신재생 보급 지원품목으로 포함 되도록 노력이 필요함.



[그림 3-65. 푸르메 설비 설치현황 조감도]



[그림 3-66. 파주 A 화훼농장 방문 및 제안]

- PVT와 태양열, BTES를 온실 바닥 안으로 제시한 비즈니스 모델

: 공간 활용을 위해 BTES를 온실 바닥 안으로 넣는 비즈니스 모델을 제시하며, 이 모델의 장점은 아래와 같음

- 1) 1000 m²의 BTES 공간을 온실 바닥으로 하여 따로 축열공간을 마련할 필요가 없음
- 2) 온실 내부가 단열재 역할을 하여, 단열 시공을 위한 공사비용을 획기적으로 절감 가능
- 3) 온실 내부공간이 넓은 경우 더 많은 축열 공간을 확보할 수 있음
- 4) 온실 내부와 축열조간의 자연스러운 열교환 가능



[그림 3-67. BTES를 온실내부공간에 설치하는 모델]



[그림 3-68. 기존 온실 공사 시에 BTES를 같이 시공 예상]

: 온실 시공 시 BTES를 동시에 시공하여 단열시공 비용뿐만 아니라 터파기 비용 등의 공사비용 절감이 가능함

<표 3-25. BTES를 온실 바닥 안으로 제시한 비즈니스 모델의 공사비용 비교>

공사명	기존 BTES 공사 비용(원)	온실내부 BTES 공사 비용(원)
지중센서	1,335,000	1,335,000
단열재	13,686,000	0
BTES천공공사	217,900,000	217,900,000
단열 및 트렌치 배관공사	65,000,000	10,000,000
BTES 배관부속	4,000,000	4,000,000
터파기 토목공사	18,500,000	0
지중센서 추가	883,000	883,000
EQ 공구 구입외	2,330,000	2,330,000
합계	323,634,000	236,448,000

: BTES를 온실바닥 안으로 제시한 비즈니스 모델의 경우 BTES 시공비용을 27% 절감할 수 있는데, 이는 유희공간이 없어 BTES나 TTES를 설치한 공간이 부족한 여주의 M 버섯농장과 평택의 G 딸기농장 등에 제안 가능함



[그림 3-69. 설치공간이 절대적으로 부족한 평택의 G농장]



[그림 3-70. 여주 M 버섯농장 방문 및 시스템 제안]

- PVT와 태양열, ATES를 축열 기반으로 한 비즈니스 모델
 - : ATES는 일정 거리 이상 간격이 떨어진 지하 대수층에 냉정과 온정을 두고 계절별로 필요한 열 부하를 꺼내 쓰는 시스템으로, 온실 및 건물의 냉난방 등 열에너지 부하를 공급하는 시스템임
 - : 22년 7월 ATES 실증현장(로테르담 및 암스테르담 빌딩)을 방문하였고, 온정 및 냉정을 개방형으로 설치하여 운영하며 히트펌프를 적극적으로 활용 중임을 확인함
 - : ATES 적용 시 천공개수를 최소화 할 수 있어, 기존에 온실이 설치되어 있어도 천공할 수 있는 작은 공간만 확보되면 시공이 가능할 것으로 생각됨
 - : 이는 축열조 시공비용을 절감할 수 있어 하나의 비즈니스 모델로 적용 가능할 것으로 판단함
 - : 이후 네덜란드 기업들이 우리 실증현장을 방문하여 ATES 적용 가능 여부를 확인하였으며, 향후 협력 방안에 대하여도 논의하였음(2022년 08월 30일)



[그림 3-71. ATEs 및 히트펌프]



[그림 3-72. ATEs 관련 네덜란드 대사관 및 기술자 실증현장 방문]



[그림 3-73. ATEs 관련 네덜란드 기술자 및 대사관 기술교류 회의(22.8.30)]

- 영업전략

: 온실 신규 설치 경우와 기존 온실에서의 적용에 따라 영업 전략을 아래와 같이 제시함

PVT와 태양열, BTES 및 TTES 축열 기반 비즈니스 모델

- 유휴공간이 확실한 신규 온실 및 농장에 적용
- 실증을 통해 검증된 시스템을 납품 및 적용가능
: 시뮬레이션 및 실증을 통한 노하우를 적용하여 안정적인 운영가능

PVT와 태양열, BTES를 온실 바닥 안으로 제시한 비즈니스 모델

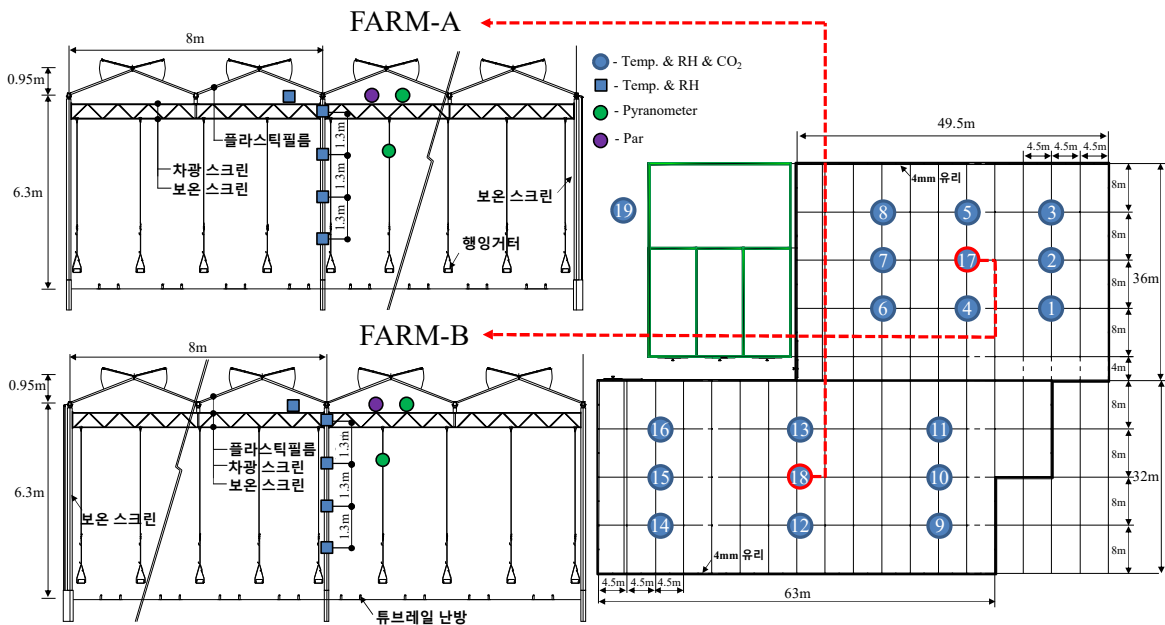
- 유휴공간이 절대적으로 부족한 신규 온실 및 농장에 적용
- BTES의 공간적인 절약이 가능함.
- BTES 단열 및 터파기 비용 절감으로 인한 BTES 시공비용 27% 절감가능

PVT와 태양열, ATES를 축열 기반으로 한 비즈니스 모델

- 유휴공간이 절대적으로 부족한 온실에 적용
- 기존에 완성되어 있는 온실이라하더라도 지열공 설치를 통해 ATES 설치 가능
- 아직 ATES에 대한 실증이 부족하여 현장 적용시의 리스크 존재함.

• 온실 내 환경 모니터링 결과 분석 및 공조 시스템 보완사항 도출

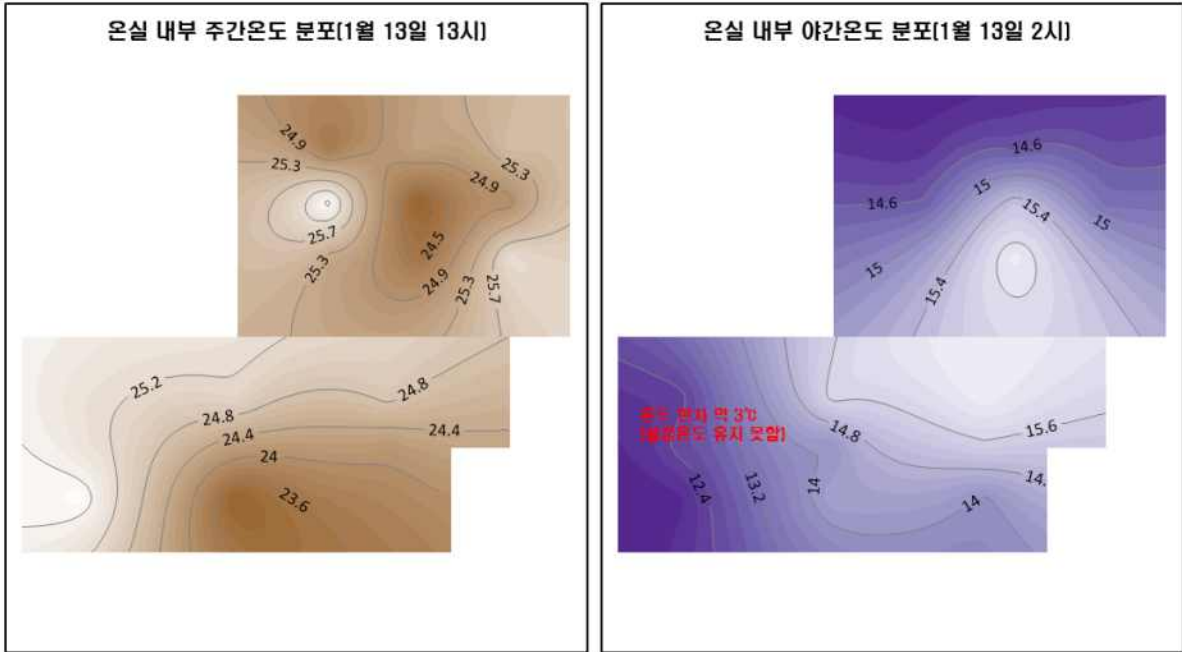
- 실증온실 내부의 환경을 측정하기 위하여 그림 3-74와 같이 센서를 배치하였다. 온실-A와 온실-B의 중앙에 각각 수직으로 온습도 센서를 5개씩 설치하였고, 스크린 위에는 일사 센서와 PAR 센서를 아래에는 일사 센서를 각각 설치하였다. 수평방향으로는 일정 간격으로 온습도 센서 및 탄산가스 센서를 9개씩 설치하였다.



[그림 3-74. 실증온실 도면 및 센서 배치]

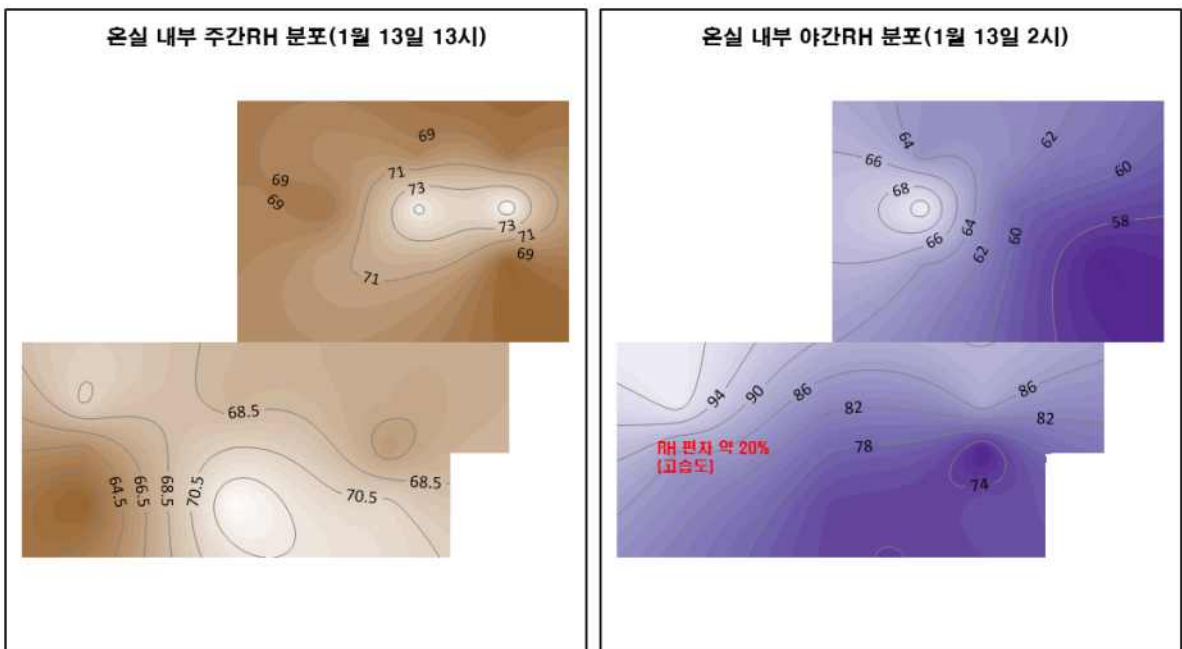
- 그림 3-75는 겨울철 주간 온실내부 온도분포를 도시한 것이다. 주간에는 일사에 의한 온도 상승으로 인해 난방이 되지 않은 것으로 나타났으며, 온도분포가 균일한 것으로 분석되었다. 반면에 난방튜브를 이용하여 난방이 실시된 야간의 경우에 온실 A는 길이방향으로 온도편차가 발생하였으나 온실 B는 온도분포가 균일한 것으로 분석되었다. 이는 온실 A는 왼쪽 끝벽에 벽면을 따라 적상으로 배치되어야 할 난방튜브가 설치되어 있지 않아 벽면을 통한

큰 열손실로 인한 것으로 판단되고, 온실 B는 왼쪽 끝벽을 따라 난방튜브가 설치되어 있지 않지만 관리실 벽면과 인접해 있어서 열손실이 억제 되었기 때문으로 판단된다. 온실 A의 온도편차를 줄이기 위해서는 왼쪽 벽면을 따라 열을 공급할 수 있는 난방튜브의 적상배관이 필요할 것으로 판단된다.



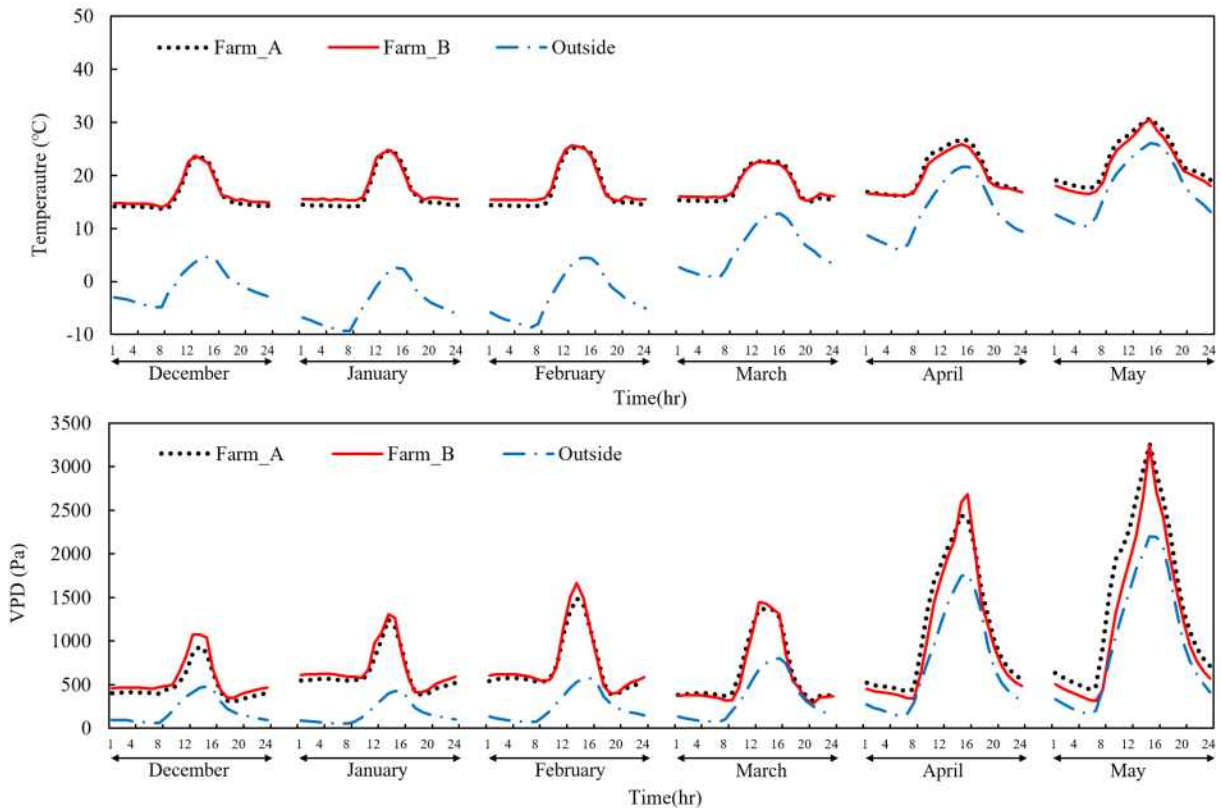
[그림 3-75. 겨울철 주야간 온실내부 온도분포]

- 그림 3-76은 겨울철 주야간 온실내부 상대습도 분포를 도시한 것이다. 주간에는 두 온실 모두 균일한 습도분포를 나타내었으며, 야간에는 온실 A는 길이방향으로 편차가 발생하였으나 온실 B는 균일한 분포를 나타내었다. 온실 A의 편차는 길이방향으로의 온도편차에 의한 영향으로 판단된다. 온실 A의 습도편차를 줄이기 위해서는 왼쪽 벽면을 따라 난방열을 공급할 수 있는 난방시설을 보완할 필요가 있다. 또한, 온실 A가 온실 B보다 습도가 더 높게 나타났으며, 이는 온실 B가 온실 A보다 온도가 더 높게 유지되었기 때문으로 판단된다.



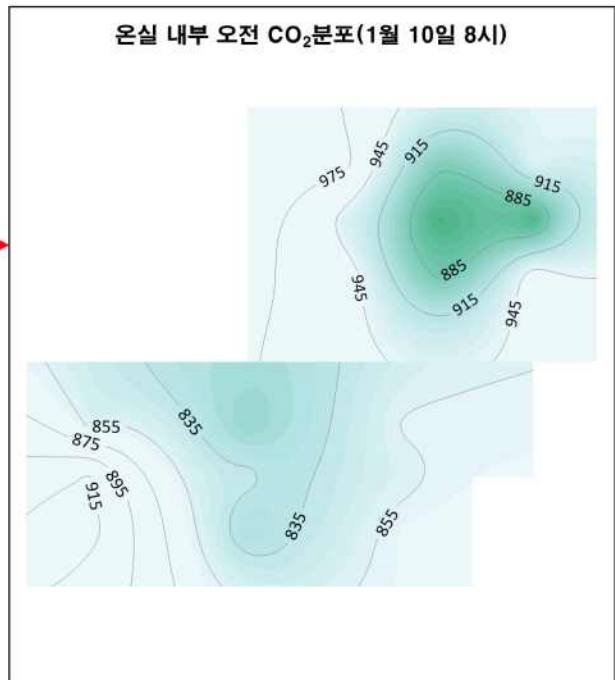
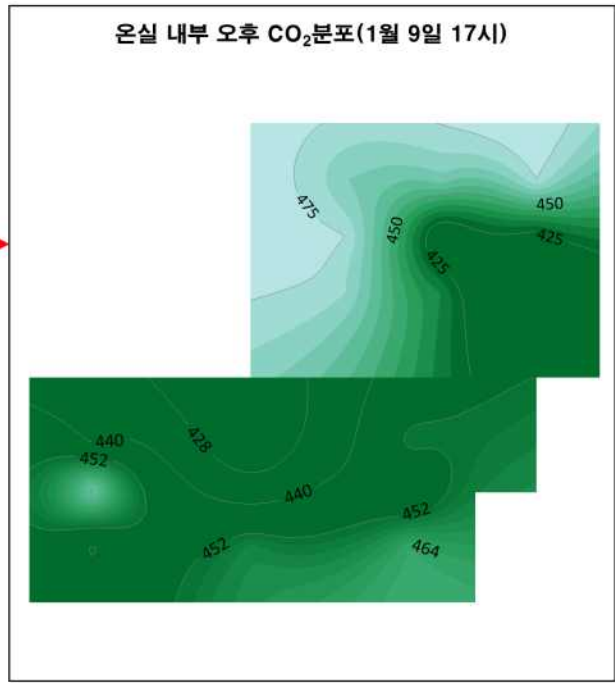
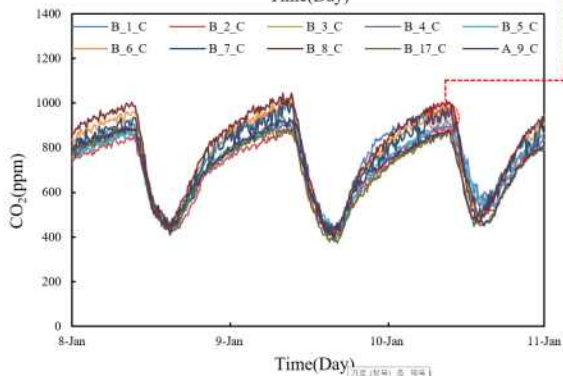
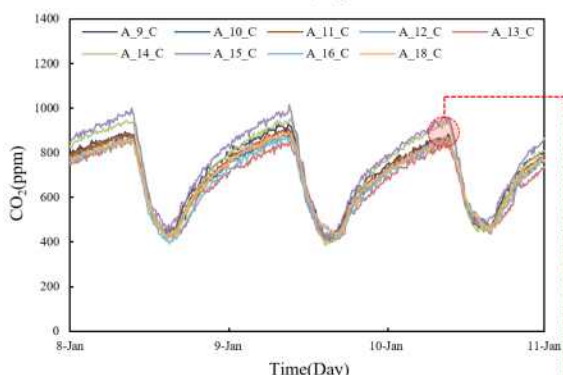
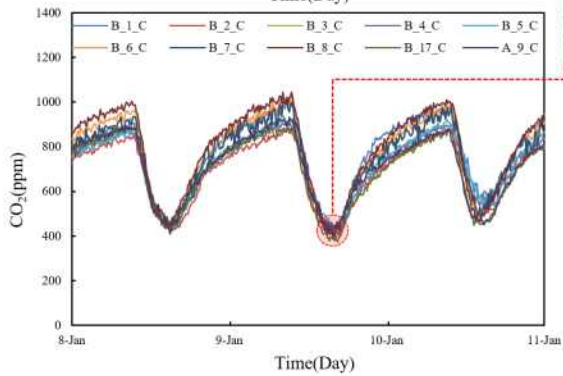
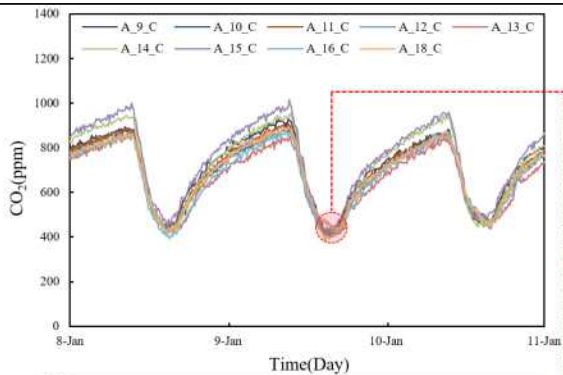
[그림 3-76. 겨울철 주야간 온실내부 습도분포]

- 그림 3-77은 월별 온실 내 시간에 따른 평균 온도 및 VPD 변화를 도시한 것이다. B 온실의 야간 내부온도가 설정온도인 15°C로 잘 유지되었으나, 온실 B보다 온실 A가 약간 더 낮게 유지되었다. 이는 앞에서 언급한 바와 같이 온실 A는 왼쪽 끝벽에 벽면을 따라 적상으로 배치되어야 할 난방튜브가 설치되어 있지 않기 때문으로 판단된다. 이로 인해 온실 A의 상대습도가 더 낮게 유지되었고, 그림에서 보는 바와 같이 VPD가 더 낮게 유지되었다. 온실 A와 온실 B의 온도를 동일하게 유지하기 위해서는 온실 A의 벽면 적상 난방배관 배치를 통해 온도의 균일성을 도모하는 보완이 필요할 것으로 판단된다.



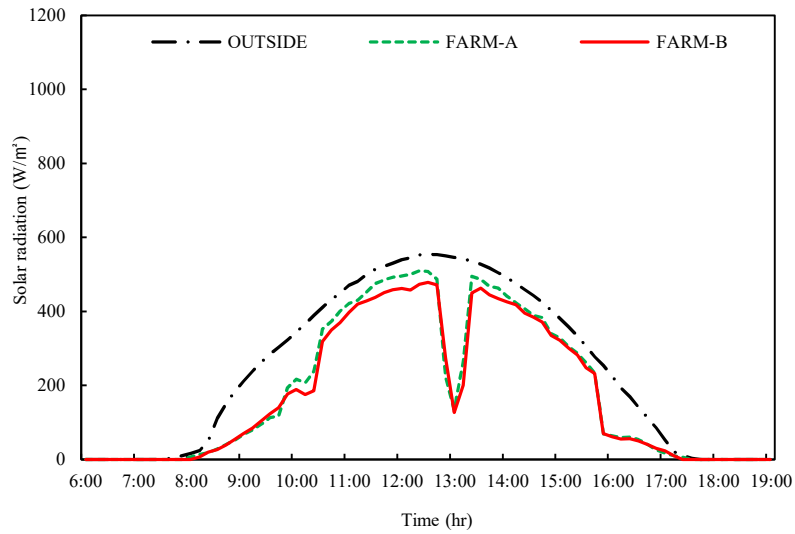
[그림 3-77. 월별 온실 내 시간에 따른 평균 온도 및 VPD 변화]

- 그림 3-78은 겨울철 주야간 온실내부 CO₂농도 분포를 도시한 것이다. 오후 5시경에는 두 온실 모두 농도가 낮고 균일하게 분포하였고, 밤이 되면서 광합성을 멈추어 농도가 급격하게 증가하였다. 오전 8시경에는 두 온실 모두 농도가 높고 균일하게 분포하였고, 해가 뜨면서 광합성을 왕성하게 시작하면서 농도가 급격히 감소하였다. 광합성 효율을 높이기 위해서는 인위적인 CO₂ 공급이 필요한 것으로 판단되며 이에 대한 보완 대책이 요구된다.

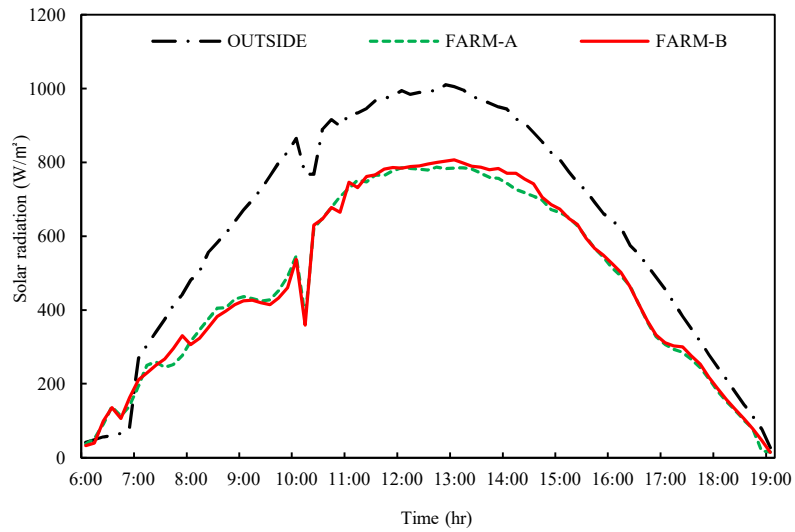


[그림 3-78. 겨울철 주야간 온실내부 CO₂농도 분포]

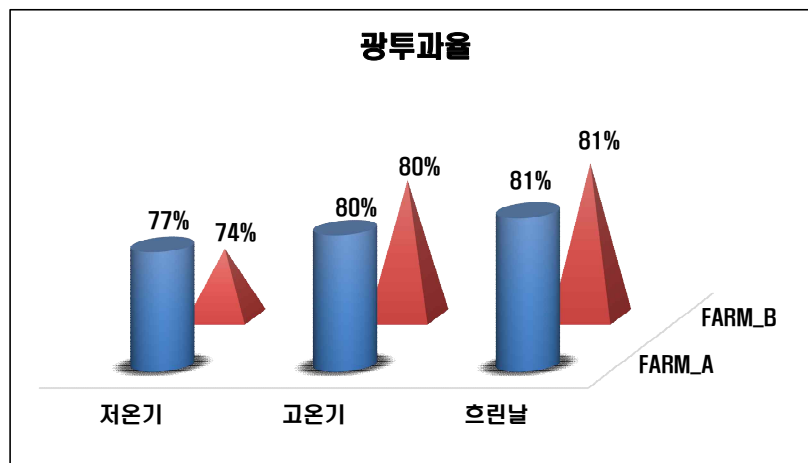
- 그림 3-79는 온실 내부의 일사량 일변화 및 평균 광투과율을 도시한 것이다. 두 온실 모두 내부 일사량의 일변화는 적절하였으며, 맑은 날의 광투과율도 약 80% 정도로 적절한 것으로 나타났다.



(a) 저온기(1월 14일) 일사량 일변화



(b) 고온기(6월 1일) 일사량 일변화



(c) 평균 광투과율

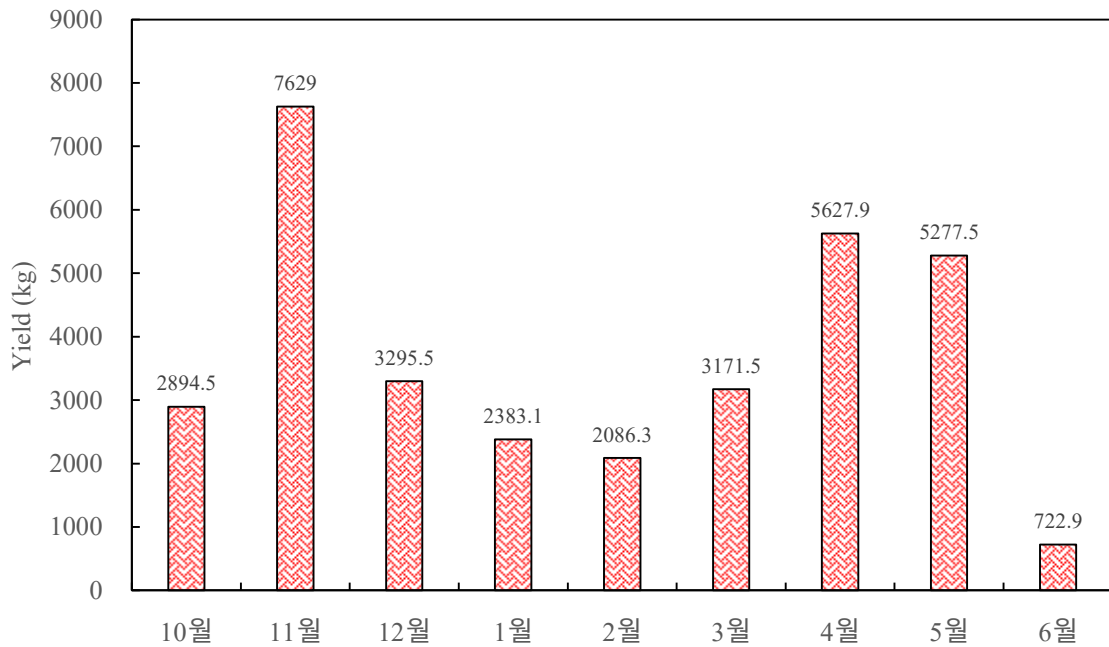
[그림 3-79. 온실 내부일사량 일변화 및 평균 광투과율]

• 수확량 조사 및 생산성 분석

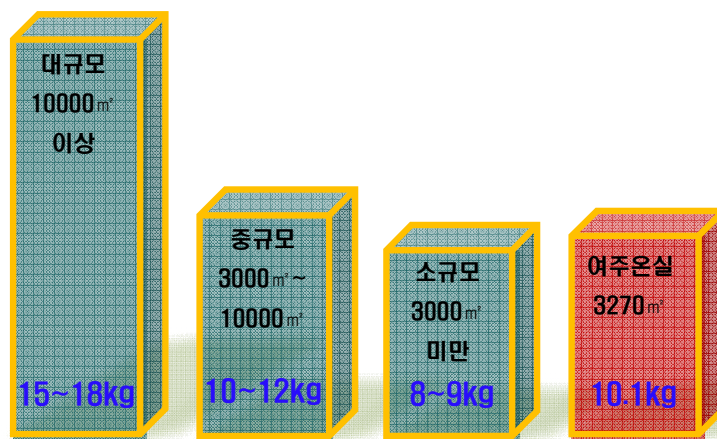
- 실증에 사용된 작물은 두 종류의 방울토마토 품종으로 스위텔과 네블라이다. 스위텔 품종은 짙은 레드 색상의 미니 스넥토마토로 단맛과 신맛 그리고 아로마 향의 조합이 우수하며, 높은 Brix와 아로마향을 기대할 수 있다. 생식생장형 품종으로 낮은 광에서도 재배가 용이하며, 기후변화에 따른 변화

가 적고 재배가 안정적이다. 대추형의 토마토로 복화방 발생이 높으며, 착과 및 수확이 좋다. 또한 과피가 균열에 민감하지 않아 저장성이 매우 우수하며, Non-TY 내병계 품종이다. 네블라 품종은 스위스의 신젠타(Syngenta)에서 개발한 토마토 품종으로 수확량이 우수한 대추형 방울토마토이다. 옅은 레드 색상의 원형 방울토마토로 기존 방울토마토와 대비되는 식감과 산도를 지니고 있으며, 미니사과처럼 아삭아삭 씹히는 것이 특징이다. 평균 중량은 14~16g이며, Non-TY 내병계 품종이다.

- 그림 3-80은 방울토마토의 월별 수확량과 연간 단위면적당 수확량을 도시한 것이다. 방울토마토(스위텔, 네블라)의 수확량에 대한 과거 통계자료가 매우 미흡한 실정이어서 부여농업기술원에 직접 문의한 결과를 토대로 온실 규모별 연평균 단위면적당 수확량을 비교하였다. 본 실험온실의 단위면적당 수확량은 중규모 온실의 최저 수확량과 유사하게 나타났다. 본 실험온실의 면적이 3,270m²으로 중규모에 해당하는 온실임을 고려할 때 수확량은 적절한 것으로 판단된다.



(a) 월별 수확량



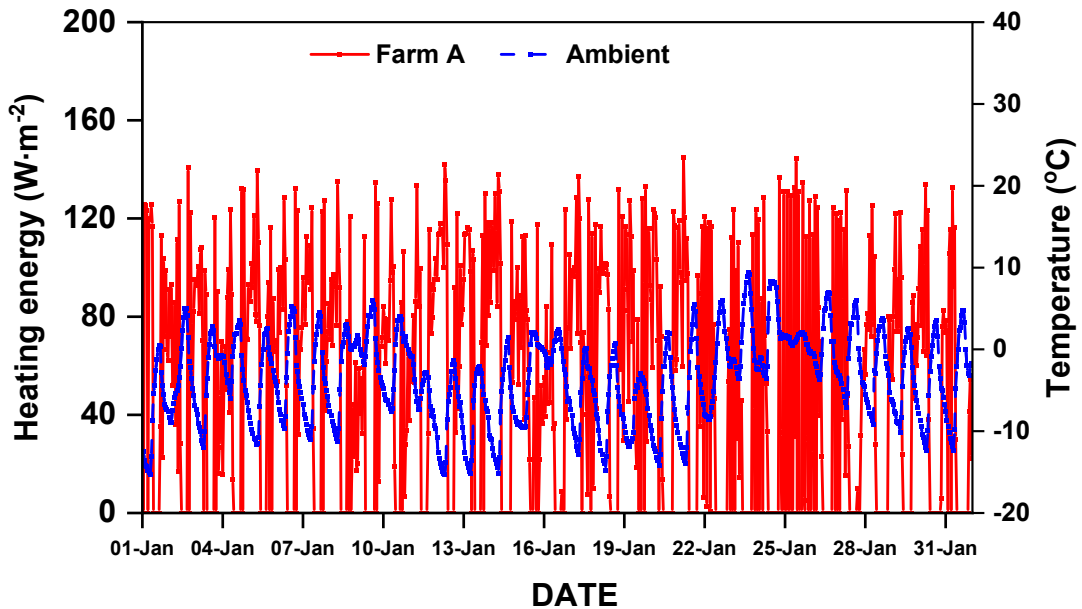
(b) 연평균 단위면적(m²)당 수확량

[그림 3-80. 방울토마토 월별 수확량 및 연평균 단위면적당 수확량]

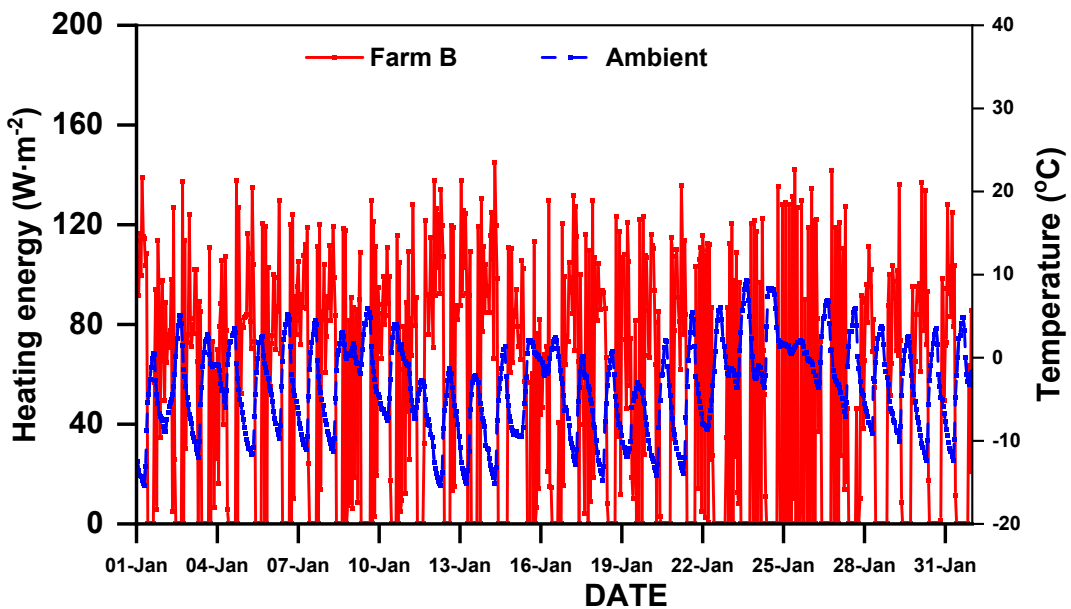
• 온실 내 냉난방 성능평가 및 온실용 최적 공조 시스템 제안

- 그림 3-81은 온실의 난방에너지 및 온도변화를 도시한 것이다. 그림 8 (a) 및 (b)에서와 같이 온수가 온-오프 제어에 공급됨에 따라 시간당 난방에너지가 매우 심하게 변화하였다. 그림 8 (d)에서와

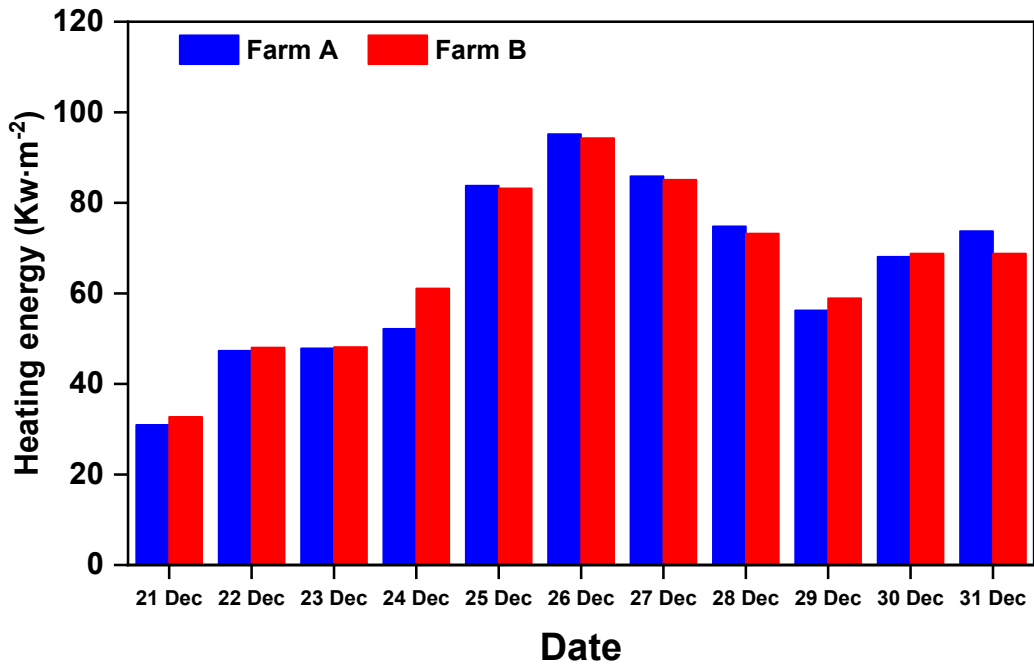
같이 외부온도가 최저인 -15°C 에서도 온실의 내부온도가 설정값 15°C 내외로 잘 유지되고 있어 난방 에너지가 충분히 잘 공급되고 있음을 확인할 수 있다. 따라서 난방튜브에 의한 난방에너지 공급이 적절하게 이루어지고 있음을 확인하였다. 다만 온실 B의 내부온도가 온실 A의 내부온도보다 더 높게 나타났다. 이는 그림 8 (c)에서와 같이 두 온실에 단위면적당 동일한 난방에너지가 공급되었으나 북서쪽 벽체의 단열상태가 다르기 때문으로 판단된다. A 온실의 북쪽벽은 외부에 노출되어 있고 내부에 적상으로 배치되는 난방관이 없는 상태이나, B 온실의 북쪽벽은 작업실에 접하고 있어 단열효과가 크기 때문에 A 온실의 열손실이 B 온실에 비해 상대적으로 더 큰 것으로 판단된다.



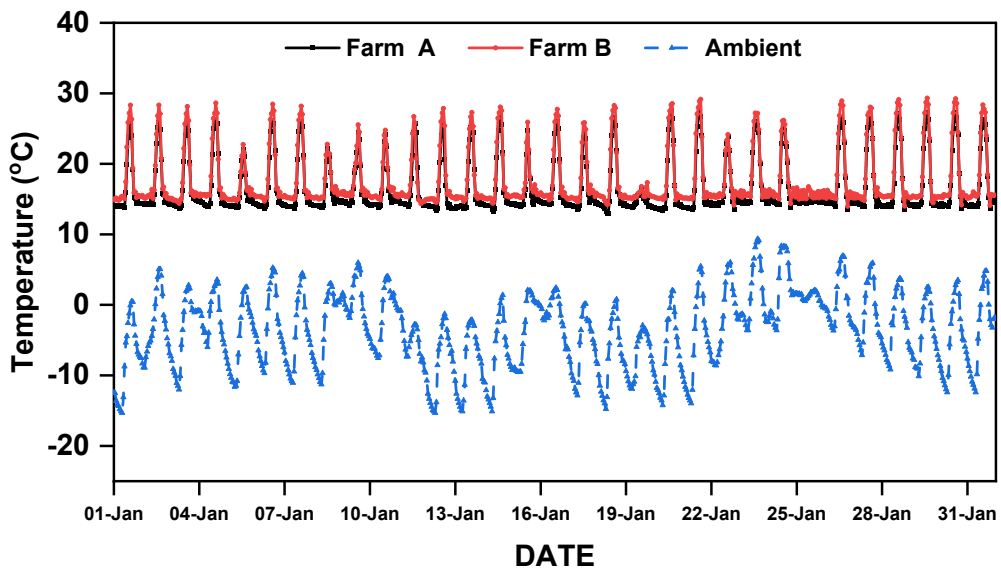
(a) 시간별 난방에너지 공급량 변화 - 온실 A



(b) 시간별 난방에너지 공급량 변화 - 온실 B



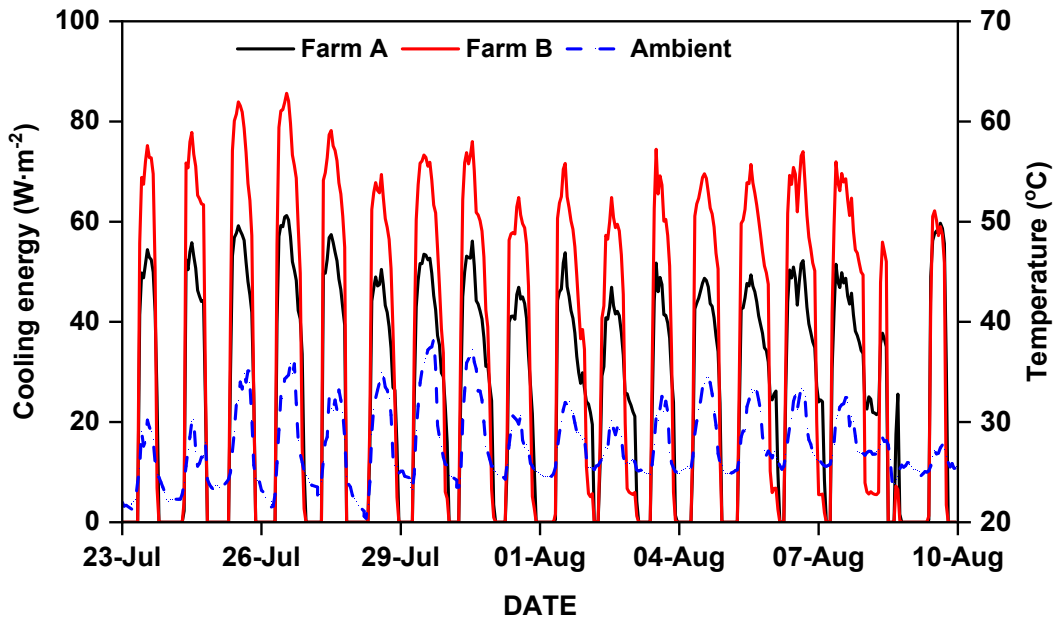
(c) 일별 난방에너지 공급량 변화



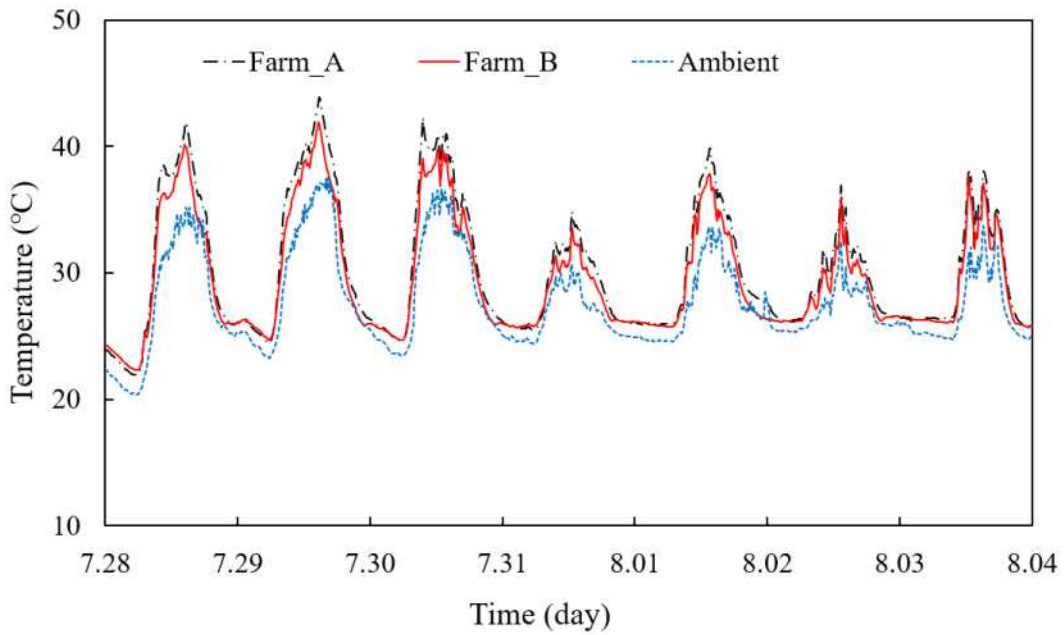
(d) 온실 내외부 온도 변화

[그림 3-81. 온실의 난방에너지 공급량 및 내외부 온도변화]

- 그림 3-82는 온실의 냉방에너지 및 온도변화를 도시한 것이다. 그림 9 (a)에서와 같이 온실 B가 온실 A보다 단위면적당 냉방에너지 공급량이 더 큰 것은 온실 B에 설치된 팬-코일 유닛이 19대로 온실 A의 17대 보다 더 많고 온실의 면적도 더 작기 때문이다. 그림9 (b)는 낮 동안만 냉방을 했을 때의 온도변화를 도시한 것이다. 온실 B가 온실 A보다 단위면적당 냉방에너지 공급량이 더 컸기 때문에 주간의 온실 B의 온도가 온실 A보다 더 낮은 것으로 나타났다.



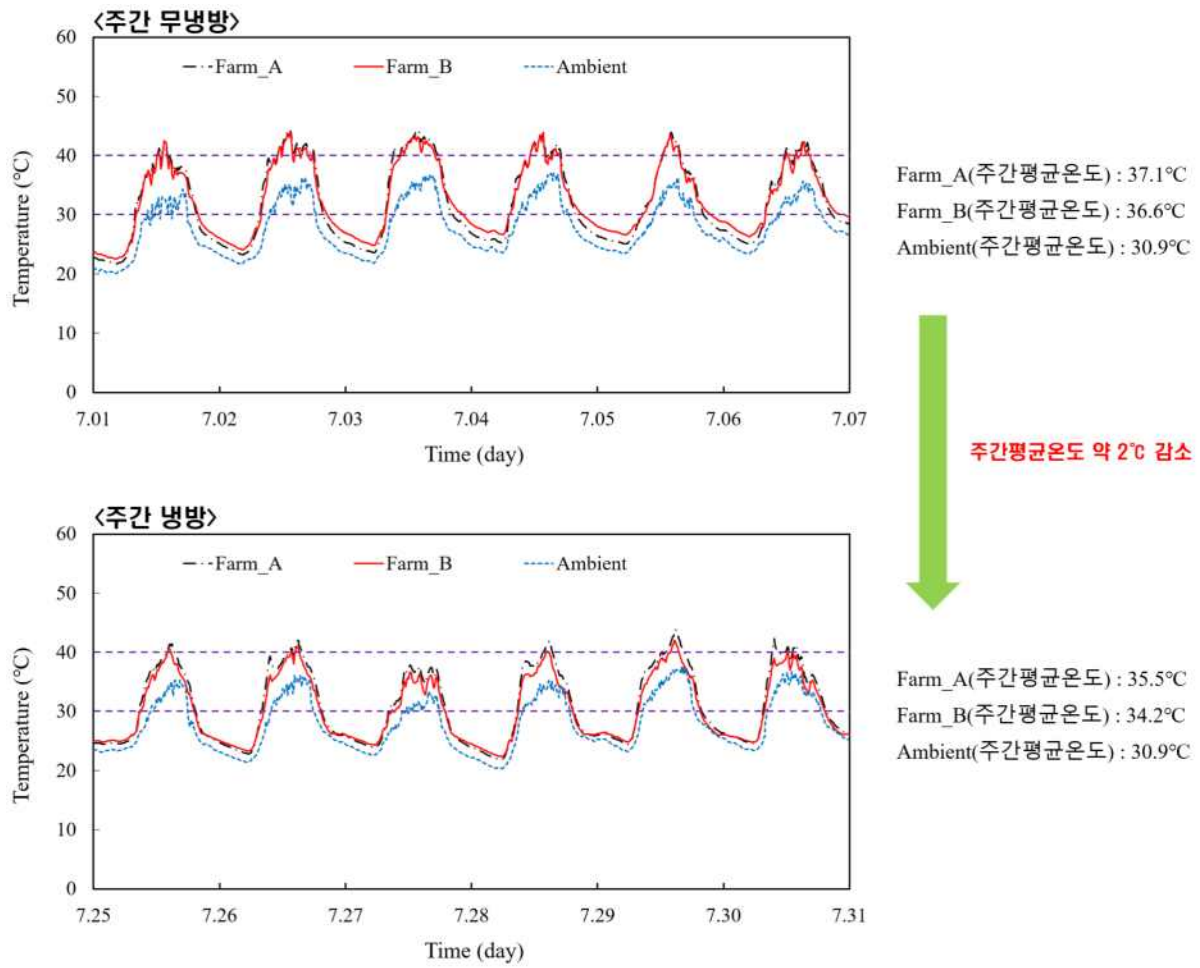
(a) 냉방에너지 변화



(b) 온도변화

[그림 3-82. 온실의 냉방에너지 및 내외부 온도변화]

- 그림 3-83은 온실의 냉방효과를 도시한 것이다. 외기온이 비슷한 조건에서 무냉방 온실과 냉방 온실의 주간의 내부온도를 비교한 결과 냉방 온실의 온도가 무냉방 온실보다 최대 약 2°C 정도 낮아지는 냉방효과가 있는 것으로 나타났다.

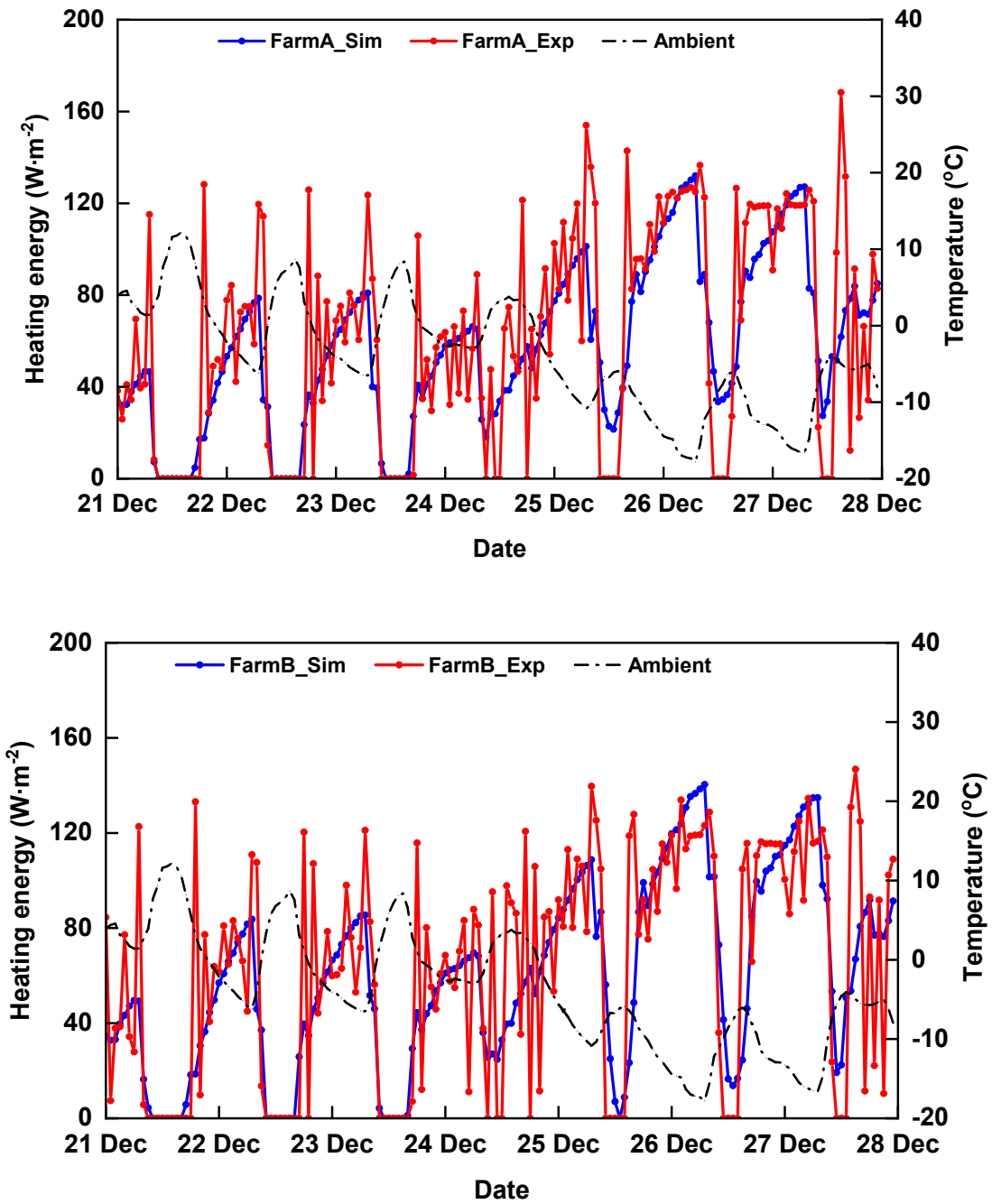


[그림 3-83. 온실의 주간 냉방효과]

• 온실 규모별 신재생에너지 융복합 이용을 통한 온실용 공조 시스템 표준모델 개발/제시

- 그림 3-84는 시간당 난방부하량의 실험값과 에너지 시뮬레이션을 이용한 계산값을 비교한 것이다. 온오프 제어에 의해 실험값의 시간에 따른 변동은 크지만 시뮬레이션 결과와 비교해 보면 변화 경향이 유사하게 나타났다. Trnsys 18에서 난방부하 산정시 사용 가능한 복사모드는 Simple(단순), Standard(표준), Detailed(상세) 등 3가지가 있으며, 외기온이 최저일 때 3가지 모드에 대한 최대 난방부하량을 산정한 결과는 표 3-26과 같고 크기는 130~140 W/m² 으로 나타났다. 온실 A와 온실 B의 표준 및 세부 복사모드의 계산 결과가 실험값과 유사하여 전반적으로 계산 능력이 우수했기 때문에 두 온실의 난방 수요를 분석하는 데 두 가지 방법을 사용하였다. 온실 A는 온실형태의 문제로 상세모드를 사용할 수 없어 표준모드를 사용하여 계산하였고, 온실 B는 상세모드를 사용하여 계산하였다.

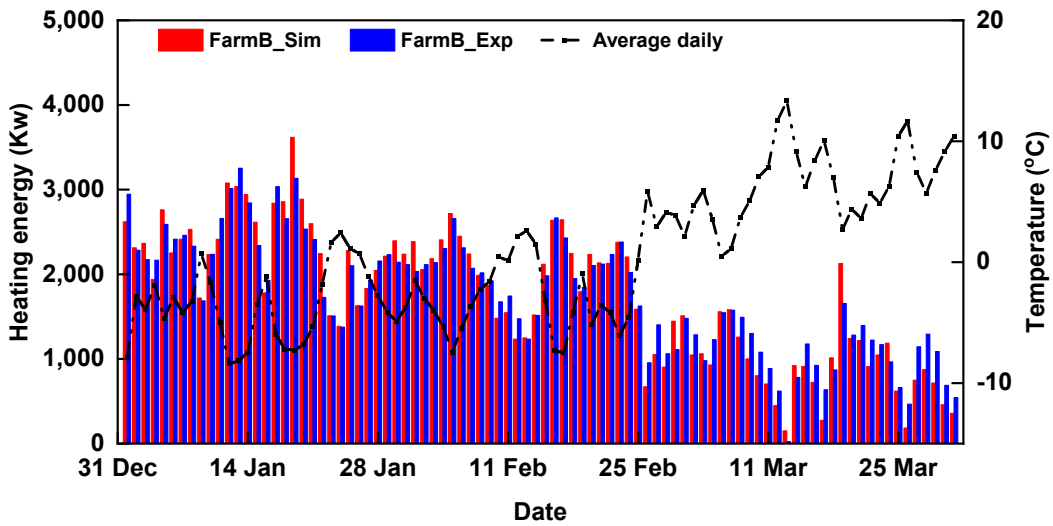
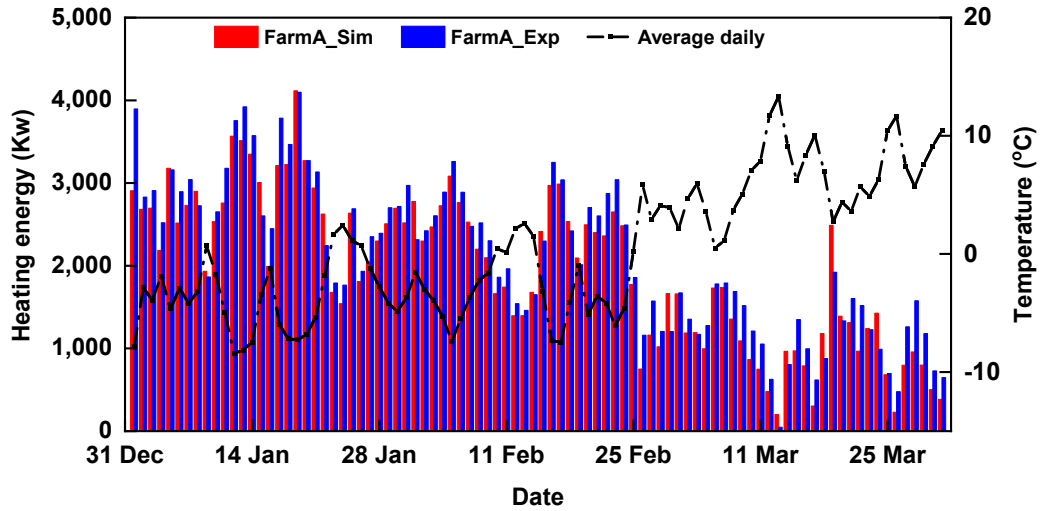
- 그림 3-85는 난방부하량 시뮬레이션 결과의 정확성을 분석하기 위하여 일일 난방부하량의 실험값과 계산값을 비교한 것이다. 온실 A와 온실 B의 NSE값이 각각 0.89 및 0.9로 실험값과 계산값이 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났다.



[그림 3-84. 시간당 난방부하량의 실험값과 계산값 비교]

<표 3-26. 최대난방부하량>

Greenhouse	Radiation simulation	Maximum heating load ($W \cdot m^{-2}$)
A	Simple	117
	Standard	132
B	Simple	135
	Standard	143
	Detailed	140



[그림 3-85. 일일 난방부하량의 실험값과 계산값 비교]

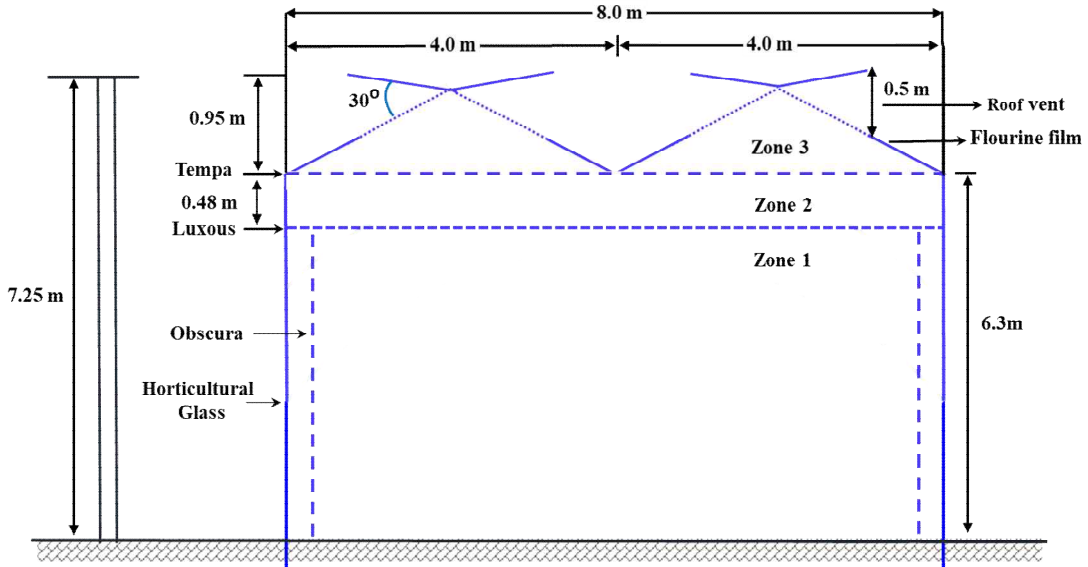
- 튜브 난방 용량을 산정하기 위한 산정식을 결정하기 위하여 기존의 산정방식들을 비교한 결과는 표 3-27과 같다. 5가지 방식을 이용하여 산정한 결과들이 서로 큰 차이를 보여주고 있으며, 이들 결과 중 Balls(1986)가 제시한 튜브의 발열량 산정방식을 이용하여 계산한 난방 열량이 실험값과 가장 근접한 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 Balls가 제시한 값을 이용하여 온실용 공조시스템 표준 모델 개발을 위한 튜브의 난방 용량을 산정하였다.

<표 3-27. 온실 단위면적당 튜브의 난방 용량 비교>

Source	Heat emission ($W \cdot m^{-2}$)
Experiment	124 ~ 135
Nam(2019)	102
Balls(1986)	138
Cengel(1998)	162
Greenhouse design	192
ASHRAE(2021)	233

- 그림 3-86은 온실 규모별로 최대 냉난방부하량을 산정하기 위하여 적용한 온실의 기본 모델이다. 온실의 규모를 농림수산식품부(2017)에서 제시한 소규모(약 3,300m² 미만), 중규모(약 3,300m² ~ 9,900m²), 대규모(약 9,900m² 이상)로 분류하여 온실의 규모별로 최대 냉난방부하량을 산정하였으며, 부하량 산정을 위한 온실의 규모별 크기는 표 3-28과 같다.

- 표 3-29는 온실규모별 공조시스템 표준모델을 제시하기 위하여 북부, 중부, 남부 및 제주지방의 대표지역인 춘천, 대전, 부산, 제주에 대한 온실규모별 최대 난방부하량을 산정한 결과이다. 표 3-30과 3-31은 각각 춘천, 대전, 부산, 제주에 대한 온실규모별 최대 주간냉방부하량과 최대 야간냉방부하량(야간에만 냉방 시)을 산정한 결과이다. 산정 결과를 이용하여 냉난방시스템의 규모를 결정하였다.



[그림 3-86. 최대 냉난방부하량 산정을 위한 온실 기본 모델]

<표 3-28. 최대 냉난방부하량 산정을 위한 온실 기본 모델>

Size	Floor area (m ²)	No. of span	Dimensions (m) (W × H × L)
Small	3,200	4	32 × 7.25 × 100
Middle	6,400	8	64 × 7.25 × 100
Large	10,400	13	104 × 7.25 × 100

<표 3-29. 지역별 최대 난방부하량>

Location	Ambient temp. (°C)	Set point temp. (°C)	Greenhouse size		
			Small	Middle	Large
			Heating demand (Kw)		
Chuncheon	-21.7	15	524	1000	1586
Daejeon	-17.3	15	461	874	1386
Busan	-12.2	15	385	731	1159
Jeju	-2.7	15	262	488	781

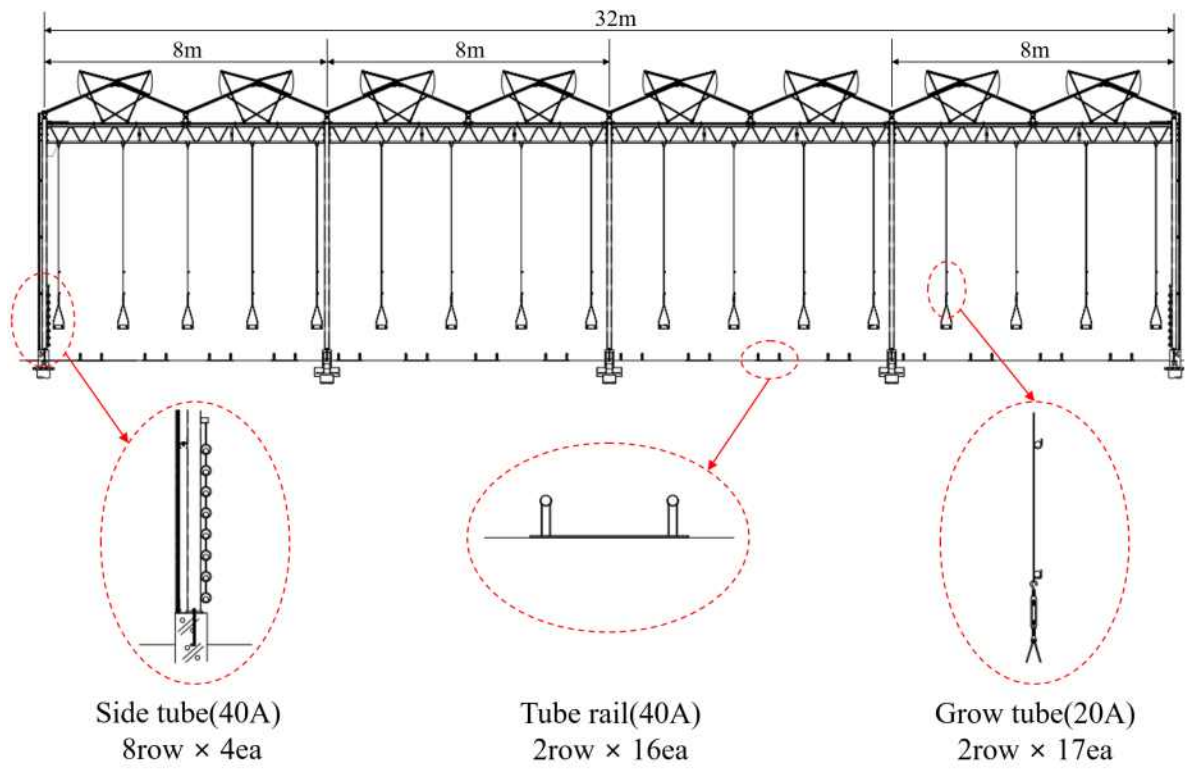
<표 3-30. 지역별 최대 주간 냉방부하량>

Location	Ambient temp. ()	Set point temp. ()	Greenhouse size		
			Small	Middle	Large
			Cooling demand (Kw)		
Chuncheon	36.4	15	808	1598	2553
Daejeon	36.0	15	808	1600	2548
Busan	34.6	15	802	1588	2533
Jeju	33.4	15	771	1525	2427

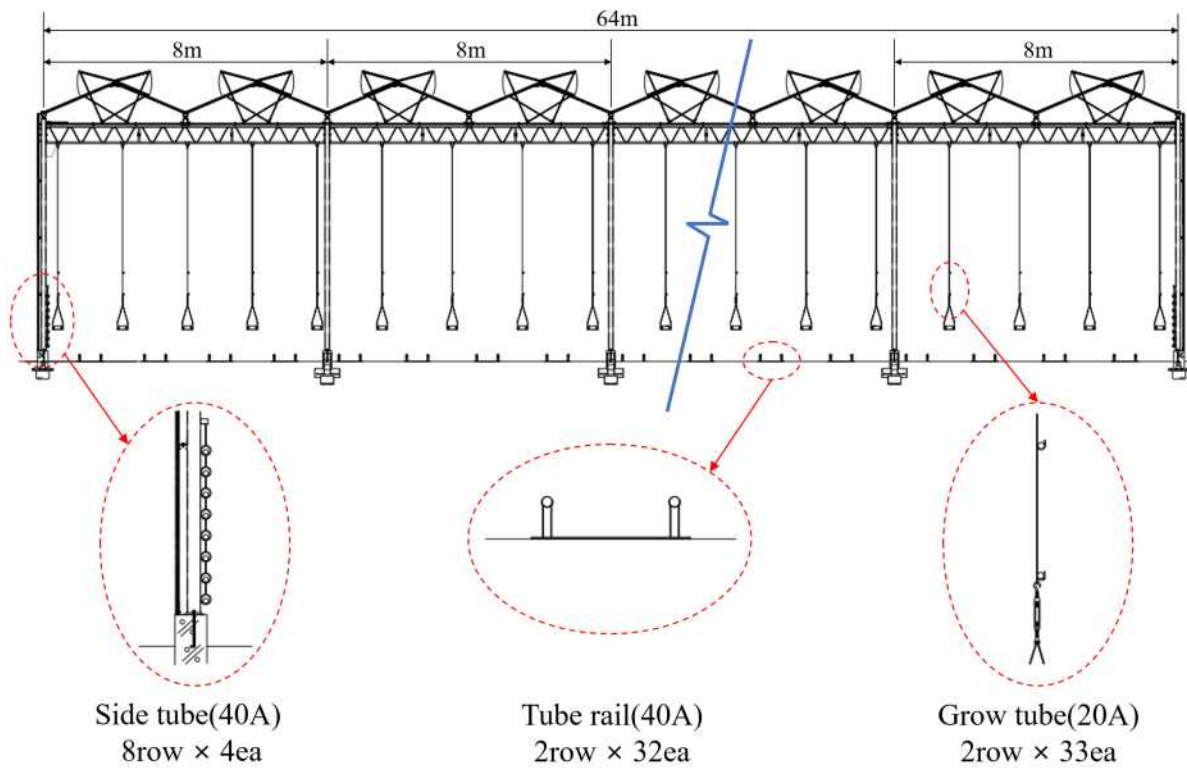
<표 3-31. 지역별 최대 야간 냉방부하량 - 야간에만 냉방시>

Location	Ambient temp. ()	Set point temp. ()	Greenhouse size		
			Small	Middle	Large
			Cooling demand (Kw)		
Chuncheon	32.1	15	611	1148	1812
Daejeon	31.9	15	591	1160	1808
Busan	30.9	15	544	1076	1695
Jeju	30.4	15	514	1009	1603

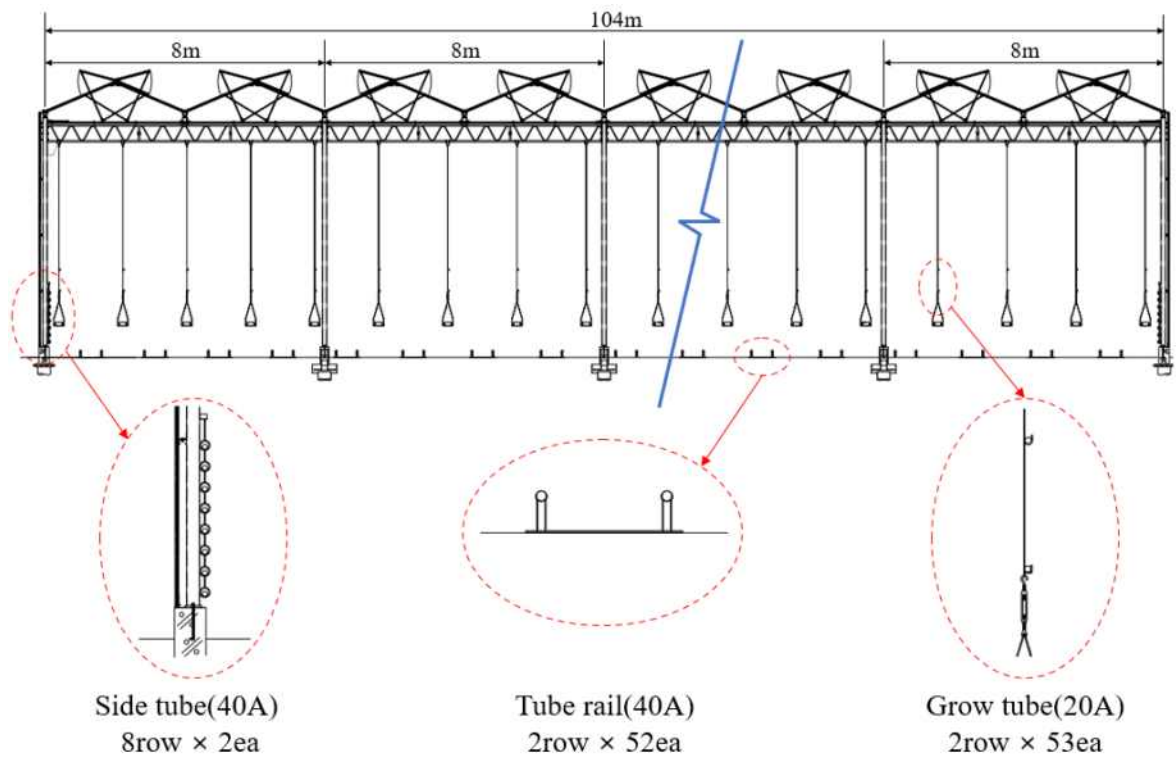
- 그림 3-87은 실험온실이 위치한 여주지역의 기상조건과 유사한 대전지역의 기상조건에 대한 온실 규모별 난방배관의 표준단면도를 나타낸 것이고, 표 3-32는 4개 지역에 대한 온실 규모별 표준 난방배관 규격을 나타낸 것이다. 대전지역과 비교해서 춘천지역은 그로우 튜브의 직경을 25A로 증가시키면 난방부하를 공급할 수 있는 것으로 나타났다. 또한 부산지역은 그로우 튜브의 직경을 10A로 줄이면 난방부하를 만족하는 것으로 나타났고, 제주지역은 그로우 튜브가 없이도 총난방부하를 공급할 수 있는 것으로 분석되었다.



(a) 소규모 온실



(b) 중규모 온실



(c) 대규모 온실

[그림 3-87. 온실 규모별 난방배관 단면도]

<표 3-32. 온실 규모별 난방배관 규격>

Location	Tube size	Greenhouse size		
		Small	Middle	Large
Chuncheon	Grow tube (25A)	2row × 17ea	2row × 33ea	2row × 52ea
	Rail tube (40A)	2row × 16ea	2row × 32ea	2row × 53ea
	Side tube (40A)	8row × 4ea	8row × 4ea	8row × 4ea
Daejeon	Grow tube (20A)	2row × 17ea	2row × 33ea	2row × 52ea
	Rail tube (40A)	2row × 16ea	2row × 32ea	2row × 53ea
	Side tube (40A)	8row × 4ea	8row × 4ea	8row × 4ea
Busan	Grow tube (10A)	2row × 17ea	2row × 33ea	2row × 52ea
	Rail tube (40A)	2row × 16ea	2row × 32ea	2row × 53ea
	Side tube (40A)	8row × 4ea	8row × 4ea	8row × 4ea
Jeju	Grow tube	-	-	-
	Rail tube (40A)	2row × 16ea	2row × 32ea	2row × 53ea
	Side tube (40A)	8row × 4ea	8row × 4ea	8row × 4ea

- 온실의 팬코일 유닛(FCU)을 통해 공급된 냉방용량을 계산값과 측정값을 비교한 결과는 표 3-33과 같다. FCU 1대의 용량은 8.133Kw이다. 표 3-34는 히터펌프의 실제 용량을 나타낸 것이며, 공기열 히터펌프의 냉방용량을 기준으로 온실 규모별로 설치 가능한 최대 팬코일 유닛 대수를 산정한 결과는 표 3-35와 같다. 이때 FCU 1대의 용량은 22.6Kw로 설계하였다.

- 표 3-36과 3-37은 각각 온실 냉방시스템 설계에 필요한 참고자료를 제시하기 위하여 지역별 및 온실규모별로 여름철 최고기온 시 표 3-34의 팬코일 유닛 대수를 사용한 주간 제어 가능 온도와 야간 제어 가능 온도(오후 10시~오전 6시)를 산정한 결과이다. 주간 최대 외기온이 33~36°C 범위일 때 온실 내부온도를 37~39°C 정도로 제어할 수 있는 것으로 나타났다. 또한, 야간 최대 외기온이 28~30°C 범위일 때 온실 내부온도를 24~31°C 정도로 제어할 수 있는 것으로 나타났다.

<표 3-33. 팬코일 유닛(FCU)의 대수 및 냉방용량>

Farm	No of FCU	Design capacity (Kw)	Measured capacity (Kw)
A	17	138.3	132.3
B	19	154.5	152.6
Total	36	292.8	284.8

<표 3-34. 히터펌프의 실제 용량>

HP	Air cooling cap.(Kw)	Hydro cooling cap. (Kw)
1_1	56	78.5
1_2	56	78.5
2_1	56	78.5
2_2	56	78.5
3_1	80.2	80.2
3_2	80.2	80.2
Total	384.4	474.4

<표 3-35. 온실 규모별 팬코일 유닛 용량 및 대수>

No	Greenhouse	FCU unit	Capacity per FCU (Kw)
1	Small	17	22.6
2	Medium	34	
3	Large	55	

<표 3-36. 지역별 및 온실규모별 여름철 최고기온 시 주간 제어 가능 온도>

Location	Station No	Ambient temp. (°C)	Greenhouse size	Max GH temp. (°C)	Controlled temp. (°C)	Cooling demand (Kw)
Chuncheon	101	36.4	Small	52.5	38	380.4
			Middle	55.4	39	762.3
			Large	55.2	39	1,215.8
Daejeon	133	36	Small	51.7	38	380.4
			Middle	54.8	39	764.4
			Large	54.6	39	1,222.7
Busan	159	34.6	Small	52.2	38	380.2
			Middle	55.2	39	765.5
			Large	55.1	39	1,228.1
Jeju	184	33.4	Small	50.5	37	363.7
			Middle	53.4	38	730.3
			Large	53.2	38	1,150.7

<표 3-37. 지역별 및 온실규모별 여름철 최고기온 시 야간 제어 가능 온도>

Location	Station No	Ambient temp. (°C)	Greenhouse size	Max GH temp. (°C)	Controlled temp. (°C)	Cooling demand (Kw)
Chuncheon	101	29.4	Small	41.6	31	366.8
			Middle	42.6	26	728.3
			Large	43.1	26	1,205
Daejeon	133	30.2	Small	40.7	31	347.1
			Middle	42.0	25	750
			Large	42.4	26	1,158.6
Busan	159	28.6	Small	40.3	30	378.8
			Middle	41.9	25	757.6
			Large	42.3	26	1,171.3
Jeju	184	29.5	Small	39.6	30	349.3
			Middle	41.0	24	755.3
			Large	41.4	25	1,166.7

(2) 정량적 연구개발성과

○ 최종 성능 목표

	평가 항목	목표	평가 기준 및 방법
1	계간축열식 태양열 및 지열원 히트펌프 융복합 통합에너지 시스템의 연간 난방 분담율* ²	80%	난방운전 성능분석 결과(보고서)
2	통합에너지 시스템의 연간 냉방 분담율* ³	50%	냉방운전 성능분석 결과(보고서)
3	통합에너지 시스템의 연간 에너지비용 절감율* ⁴	70%	최종 보고서
4	통합에너지 시스템 운전 매뉴얼 / 수요자를 위한 IoT기반 모니터링/제어 시스템	-	최종 보고서 별첨 운전 매뉴얼 등
5	온실용 보급형 통합에너지 시스템 표준모델	> 3	최종보고서

○ 최종 성능 달성도

	평가 항목	목표	달성치	달성도	평가 방법
1	계간축열식 태양열 및 지열원 히트펌프 융복합 통합에너지 시스템의 연간 난방 분담율* ²	80%	93%	100%	실증운전 결과(보고서)
2	통합에너지 시스템의 연간 냉방 분담율* ³	50%	100%	100%	실증운전 결과(보고서)
3	통합에너지 시스템의 연간 에너지비용 절감율* ⁴	70%	97.3%	100%	실증운전 결과(보고서)
4	통합에너지 시스템 운전 매뉴얼 / 수요자를 위한 IoT기반 모니터링/제어 시스템	-	완료	100%	운전 매뉴얼 작성(별첨 보고서) 모니터링 시스템 구축결과(보고서)
5	온실용 보급형 통합에너지 시스템 표준모델	> 3	4	100%	표준모델 구축결과(보고서)

* 3차년도 운전을 통한 냉난방 부하 분담율 및 에너지비용 달성도 근거 (본문 P.31-32 참조)

(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	Development and Validation of Air-to-Water Heat Pump Model for Greenhouse Heating	Energies	Rasheed Adnan	14권 15호	스위스	MDPI	SCIE	2021.8.3	1996-1073	50%
2	Analysis of Heat and Mass Distribution in a Single- and Multi-Span Greenhouse Microclimate	Agriculture	Qazeem Opeyemi Ogunlowo	11권 9호	스위스	MDPI	SCIE	2021.09.16	2077-0472	50%
3	시설원에 에너지자립형 계간축열기반 신재생 융복합시스템 적용성 분석	설비공학 논문집	김민휘	33	한국	대한설비공학회	비SCIE	2021.08.01	1229-6422	100%
4	Modeling-Based Energy Performance Assessment and Validation of Air-To-Water Heat Pump System Integrated with Multi-Span Greenhouse on Cooling Mode	Agronomy	Rasheed Adnan	12권 6호	스위스	MDPI	SCIE	2022.06.07	2073-4395	50%

5	TRNSYS Simulation and Experimental Validation of Internal Temperature and Heating Demand in a Glass Greenhouse	Sustainability	Adesanya Misbaudeen Aderemi	14권 14호	스위스	MDPI	SCIE	2022.07.06	2071-1050	50%
6	Economic and Environmental Analysis of Solar Thermal and Seasonal Thermal Energy Storage Based on a Renewable Energy Conversion System for Greenhouses	Energies	Deuk-Won Kim	15권 18호	스위스	MDPI	SCIE	2022.09.09	1996-1073	100%
7	신재생융복합시스템이 적용된 시설원예의 온실가스 및 운영비용 절감 효과 분석	설비공학 논문집	김득원	34권 10호	한국	대한설비공학회	비SCIE	2022.10.01	1229-6422	100%
8	Study on Heating and Cooling Performance of Air-to-Water Heat Pump System for Protected Horticulture Building Energy Simulation Model	Energies	Rasheed Adnan	15권 15호	스위스	MDPI	SCIE	2022.07.28	1996-1073	50%
9	Application to Greenhouse Microclimate, Covering Material and Thermal Blanket Modelling: A Review	Nigerian Journal of Technical Development	Akpenpuun Timothy Denen	19권 3호	나이지리아	University of Ilorin	비SCIE	2022.09.11	0189-9546	100%

국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	2020 한국원예학회 제112차 추계학술발표회	이현우	2020. 11. 6	온라인	한국
2	2020 한국생물환경조절학회 추계학술발표회	라쉬드 아드난	2020. 10. 22	온라인	한국
3	2021 대한설비공학회 하계학술발표회	김민휘	2021. 06. 24	평창	한국
4	2021 Asia-Pacific Forum on Renewable Energy (AFORE)	김민휘	2021. 11. 19	제주	한국
5	2021 대한설비공학회 동계학술발표회	김민휘	2021. 11. 19	서울	한국
6	2021 한국생물환경조절학회 추계학술발표회	이현우	2021. 10. 7	온라인	한국
7	2021 한국태양에너지학회 춘계학술 발표회	류경호	2021.5.14.	충남 보령	한국
8	2022 한국동공학회 학술발표회	Adesanya Misbaudeen Aderemi	2022. 10. 13	대구	한국
9	2022 한국생물환경조절학회 춘계학술발표회	Adesanya Misbaudeen Aderemi	2022. 05. 12	전주	한국
10	2022 대한설비공학회 하계학술발표회	김득원	2022.06.24	평창	한국

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	(특허) 태양광 패널용 냉각 플레이트 및 그 제조 방법	대한민국	장한기술	20.12.18.	10-2020 -017882 8		장한기술	22.11.1 8	10-2470 234	100%	
2	(PCT) 태양광 패널용 냉각 플레이트 및 그 제조 방법	PCT	장한기술	20.12.21	PCT/KR 2020/01 8783					100%	
3	(디자인) 태양광 패널용 유로 시트	대한민국	장한기술	20.12.18.	30-2020 -006319 4					100%	
4	(디자인) 태양광 패널용 유로 시트	대한민국	장한기술	20.12.18.	30-2020 -006319 5					100%	
5	(디자인) 태양광 패널용 유로 시트	대한민국	장한기술	20.12.18.	30-2020 -006319 6					100%	
6	(디자인) 태양광 패널용 유로 시트	대한민국	장한기술	20.12.18.	30-2020 -006319 7					100%	
7	신재생 에너지를 이용한 통합 에너지 시스템	대한민국	한국에너 지기술연 구원	21.11.5	10-2021 -015157 1					100%	
8	공동주택 단지의 PVT를 활용한 열공급 시스템	대한민국	한국에너 지기술연 구원	22.12.28	10-2022 -018752 4					100%	
9	중앙열원공급 방식의 열네트워크를 활용한 분산형 열공급 시스템	대한민국	한국에너 지기술연 구원	22.12.28	10-2022 -018752 5					100%	

[경제적 성과]

□ 시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작 업체명	설치 장소	이용 분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)

□ 기술 실시(이전)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료 (해당 연도 발생액)	누적 징수 현황

□ 사업화 투자실적

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

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

□ 사업화 현황

번호	사업화 방식 ¹⁾	사업화 형태 ²⁾	지역 ³⁾	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (달러)		
1	자기실시	기존제품공정개선	국내	제품출시	PVT 개선	장한기술	995,420		2021	10년
2	자기실시	기존제품공정개선	국내	제품출시	PVT 개선	장한기술	13,200		2022	10년

* 1) 기술이전 또는 자기실시 중 해당하는 사항을 기재합니다.

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

* 3) 국내 또는 국외 중 해당하는 사항을 기재합니다.

□ 매출 실적(누적)

사업화명	발생 연도	매출액		합계	산정 방법
		국내(천원)	국외(달러)		
PVT 판매	2021	995,420		995,420	세금계산서
PVT 판매	2022	13,200		13,200	세금계산서
합계		1,008,620		1,008,620	

□ 산업 지원(기술지도)

순번	내용	기간	참석 대상	장소	인원
1	시설과채류 생산과정 (온실 구조 및 환경 관리 기술)	2020. 3. 1~ 2020. 12. 31	시설과채류 생산 농업인	경북대학교	30명
2	시설ICT채소 생산과정 (온실 구조 및 환경 관리 기술)	2021. 3. 1~ 2021. 12. 31	시설과채류 생산 농업인	경북대학교	27명
3	시설ICT채소 생산과정 (온실 구조 및 환경 관리 기술)	2022. 3. 1~ 2022. 12. 31	시설과채류 생산 농업인	경북대학교	19명

□ 전문 연구 인력 양성

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

□ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일
1	월간잡지	냉난방공조 신재생 녹색건축 전문저널 칸	[인터뷰] 김민휘 한국에너지기술연구원 선임연구원 재생에너지 융복합 시스템 적용 '에너지자립형' 스마트팜 착공	2020.07.12
2	중앙일간지	서울경제 외 20곳	[기획연재] 'R&D로 농업을 바꾸고, 미래를 개척하다' -탄소중립 실현, 농업의 역할을 강화하라	2020.11.04
3	중앙일간지	농수축산신문	[혁신의 창] 재생에너지를 활용한 농업의 홀로서기 탄소는 줄이고 효율은 높이고	2021.11.24
4	계간잡지	iPET창	태양열 및 계간축열조 활용 제로에너지 온실 실증사례	2022.04.05
5	학회지	건축환경설비(한국건축친 환경설비학회지)	[현장탐방] 여주 푸르메 소셜팜	2022.04.01
6	월간잡지	냉난방공조 신재생 녹색건축 전문저널 칸	[현장탐방] 여주 푸르메 소셜팜	2022.10.09

[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)

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

[그 밖의 성과](해당 시 작성합니다)

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

2) 목표 달성 수준

추진 목표	달성 내용	달성도(%)
○ 실증운전 데이터 분석을 통한 통합에너지 시스템 개선 요소 발굴 및 개선	○ 실증운전 데이터 분석 완료 및 통합에너지시스템 개선 완료	○ 100%
○ 통합에너지 시스템의 제어로직 보완 및 제어 시스템 반영	○ 통합에너지 시스템 제어로직 보완 완료 및 제어 시스템 반영 완료	○ 100%
○ 계간축열조를 포함한 축열 시스템의 효과 분석 및 검증	○ TTES 및 BTES 축열 시스템 효과 분석 및 검증 완료	○ 100%
○ 구축 설비의 사후관리 및 유지보수 지원 방안 제시	○ 실 사용자의 사후관리 및 유지보수를 위한 운전 매뉴얼 작성 및 실증단지 운영자 교육 진행	○ 100%
○ 시뮬레이션을 이용한 설치환경(지역별/부하 패턴별)에 따른 최적 운전방안 제시	○ 온실부하예측 시뮬레이션 개발 완료 및 최적 운전방안 제안에 따른 시뮬레이션 분석 완료	○ 100%
○ 온실 내 환경 모니터링 결과와 수확량 조사 및 생산성 분석	○ 수확량 측정 및 국내 방울토마토 생산 농가의 평균생산량과 비교 분석	○ 100%
○ 분석 결과를 이용한 온실 내 공조 시스템 보완사항 도출 및 검증	○ 균일한 온도분포를 위한 난방 튜브 추가 설치 및 적정 탄산가스농도 유지를 위해 탄산가스 시비의 필요성 확인	○ 100%
○ 실 사용자를 위한 운전 매뉴얼 작성	○ 실 사용자를 위한 운전 매뉴얼 작성 및 실증단지 운영자 교육 진행	○ 100%
○ 사업종료 후 실 사용자가 이용할 IoT 기반 모니터링 및 제어 시스템	○ 고장진단을 위한 온실부하 시뮬레이션 개발 완료 ○ IoT기반 고장진단 모니터링 DB 구축 및 알람서비스 구축 완료	○ 100%
○ 신재생에너지 융복합 이용을 통한 온실용	○ 신재생에너지 융복합 이용 온	○ 100%

공조 시스템 BZ모델 및 표준모델 개발/제시	실 보급확대를 위한 비즈니스 모델 개발 완료 ○ 온실용 보급형 통합에너지 시스템 표준모델 개발 및 제시 완료
--------------------------	---

4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성합니다)

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

해당없음

2) 자체 보완활동

해당없음

3) 연구개발 과정의 성실성

해당없음

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

- 국가 탄소배출 감축 및 제로를 달성하기 위한 노력이 진행되는 가운데, 원예시설에서 다양한 신재생에너지원의 적용을 통해 탄소중립 원예시설을 구축하기 위한 기반 기술 확보
- 농업에너지 자립을 위한 전력 및 열에너지 기반 통합에너지시스템 개발을 통해 국가 탄소중립 목표 달성에 기여하고, 신재생에너지의 적용성 확대 및 제로에너지 온실 구현을 위한 온실 건축, 운영 및 설비 기술 확보
- 실증 사이트 대상 온실의 부하 분석을 통해 적정 통합에너지 시스템 설계가 가능한 설계 기술 확보
- 온실 난방 뿐만아니라 냉방 공급을 통한 농가소득 증대 가능 및 이를 위한 통합에너지시스템 설계 기술 확보
- 기존의 전기히터 방식 대비 상대적으로 복잡한 통합에너지 시스템의 구축 및 운영을 위한 가이드라인 개발
- 실증 운전을 통한 통합에너지 시스템의 경제성 분석 및 탄소배출 저감효과 분석 및 검증
- 신재생에너지 시스템이 적용된 통합에너지 시스템의 최적 운영 알고리즘 개발 및 향후 온실농가에 보급 확대를 위한 운영 알고리즘 개발 및 보급 가능
- 연구개발성과에 대한 기술 기여도 산정

(단위 : 백만원, %)

총괄과제명	세부과제명	기관명	유형	총 연구개발비 (A)	정부지원 연구개발비 (B)	정부지원 연구개발비 비율 (C=B/A)	성과 유형	기술기여도	
								산출 근거	비율
원예시설의 공조를 위한 태양열·지열 융복합 에너지 생산·저장·관리 및 실증모델 구축	원예시설의 공조를 위한 태양열·지열 융복합 에너지 생산·저장·관리 및 실증모델 구축	한국 에너지 기술 연구원	출연연 (비영리)	2,000	2,000	1.000	신규 기술개발	해당 없음	-
	재생에너지 융복합 이용 온실 환경 및 에너지 분석을 통한 현장 실증	경북 대학교	대학 (비영리)	400	400	1.000	신규 기술개발	해당 없음	-
	재생에너지 융복합 이용 통합에너지시스템 설계·구축 및 비즈니스 모델 개발	장한기술 (주)	중소기업 (영리)	4,142	2,600	60.933	기존 공정개선	①-①	10
계				6,542	5,000	-	-	-	-

※ 기술기여도 산출근거

○ 본 과제는 상용화 및 검증된 각 설비의 통합 및 운용이 중요 목표로서, PVT 제품을 제외한 각 설비는 이미 시중에 상용화된 제품으로 본 과제를 통해 개발된 제품이 아니며, PVT 제품 또한 본 설비에 병합하기 용이하도록 일부를 개선한 사항으로 참여 기업에서 하기와 같은 산출 방식으로 최대한인 10%로 제시한 것이며, 실질적 기술기여도는 미비함. 상세사항은 제품 출시 확인서에 기술되었음

- PVT설비 비용 = 설치단가 * 설치용량 = 5.5 백만원/kW * 40.875kW = 약 240 백만원
- 정부지원 연구개발비 = 2,600 백만원
- 정부지원 연구개발비 중 PVT 설치비 비율 = 240 / 2,600 = 9.2%
(PVT 설치 단가 근거 : 연구개발계획서 42쪽 참조)

○ 추후 본 과제에서 개발된 전체 시스템과 동일한 시스템에 대한 매출 발생시 전담기관에 보고 및 협의 후 기술 기여도를 별도 산출할 예정임

6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

- 본 연구단이 계획한 성과는 아래 표와 같음
- 본 연구개발은 실증 운전을 통해 제안된 통합에너지시스템을 검증하고, 실증 운전을 기반으로 향후 온실의 에너지자립을 위한 보급형 통합에너지시스템을 제안하는 것을 목표로 함
- 본 실증 운전에 대한 데이터를 지속적으로 모니터링하고, 냉방과 난방기간 동안 다양한 실험이 진행될 수 있도록 실증사이트인 푸르메재단과 지속적인 협력관계를 유지할 계획임
- 본 협력관계는 사업개시 시점인 2020년 체결된 사업협력 양해각서(MOU)를 기반으로 운영될 예정이며, 수혜기관인 푸르메재단에서 장기수선충당금을 적립하여 운영유지비용을 지불할 예정이며, 연구단은 실증단지에 대한 연구결과물 및 데이터를 지속적으로 공유 받을 예정임

사업협력 양해각서(MOU)

개발과제 주관기관: 한국에너지기술연구원
 실증단지 수혜기관: 푸르메재단

개발과제 참여기관: (주)양천기술, 경희대학교
 실증단지 조성의뢰자: 푸르메재단 조성부 1호(푸르메 여주팍)

"원격시설의 공조를 위한 태양열·지열 융복합 에너지 생산·저장·관리 및 실증모
 델 구축 과제 실증단지(이하 융복합 계간축열 실증단지)"에 대한 사업협력을
 위해 상호 다음과 같은 사업협력 양해각서(MOU)를 체결한다.

제 1 조 (목적) 본 양해각서는 당사자 간 상호적인 협력 하에 융복합 계간축
 열 실증단지를 조성하기 위한 협력을 목적으로 한다.

제 2 조 (기본원칙) 당사자는 상호협력에 있어 원칙적으로 상대방과의 계
 간을 존중하고 호혜적인 차원에서 협력관계를 유지하며, 상호존중과 신뢰성
 의 원칙에 따라 본 양해각서의 내용을 성실히 수행한다.

제 3 조 (별의사행) 당사자는 제1조의 목적을 달성하기 위하여 다음 사항에
 대하여 상호 적극 협력한다.

1. 실증단지 조성을 위한 장소 및 시설에 대한 적극적인 협력
 - 1) 실증단지 조성 공사에 대한 인력 보충 및 공사지의 세로사항에 대해
 상호 적극적으로 협조한다.
 - 2) 실증단지 조성을 위해 연구 개발과제 주관기관 및 참여기관(이하 "연
 구단")이 푸르메재단에 설치하는 설비는 출원 1차 있다. (유망 및 세부
 사항은 상호 상황에 따라 변경될 수 있다.)
 3. 실증단지 수혜기관이 설정적인 수혜를 보기 위한 노력, 수혜기관에 운영관
 관 과제가 없도록 연구단의 적극적인 협력
 - 3) 연구단은 BTES의 위치를 온실 지하에서 지하수도로 변경하여 온실

[그림. 푸르메 재단 및 연구단 사업협력 양해각서 (2020.10 체결)]

- 본 실증연구가 꾸준히 진행될 수 있도록 푸르메 여주팍의 실무담당자와도 지속적인 협의가 진행되
 고 있음
- 본 실증단지에 대한 연구는 3차년도까지 진행되었으나, BTES와 같이 실제 운전성능을 도출하기
 까지 3년이상 걸리는 설비에 대한 모니터링도 중요하므로, 추가 연구과제를 발굴하는 한편, 푸르
 메 여주팍과도 지속적인 협력관계를 유지하기 위한 방안을 모색할 것임
- IoT 기반 모니터링 시스템의 유지관리방안을 푸르메 여주팍 실증단지 담당자와 교육을 진행하였
 으며, 운영에 필요한 모니터링 및 운영 매뉴얼을 지속적으로 업데이트할 계획임
- 실증단지의 운영을 자립하기 위해 개발된 IoT기반 모니터링 시스템의 지속적인 운영을 통해 현장
 담당자가 운영될 수 있도록 연구개발 종료 후에도 지원할 계획임

< 연구개발성과 활용계획표 >

구분(정량 및 정성적 성과 항목)		연구개발 종료 후 5년 이내				
		2023	2024	2025	2026	2027
국외논문	SCIE	1				
	비SCIE					
국내논문	SCIE					
	비SCIE	1				
특허출원	국내					
	국외					
특허등록	국내	1	1			
	국외					
사업화	시제품개발					
	상품출시					
	기술이전					
	공정개발					
	매출액(단위 : 천원)	13,200	750,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
	기술료(단위 : 천원)	58	3,295	4,394	4,394	4,614

1) 사업화 추진 계획

6.1. 보급확산을 위한 비즈니스 모델 개발 및 제시

1) 시장현황

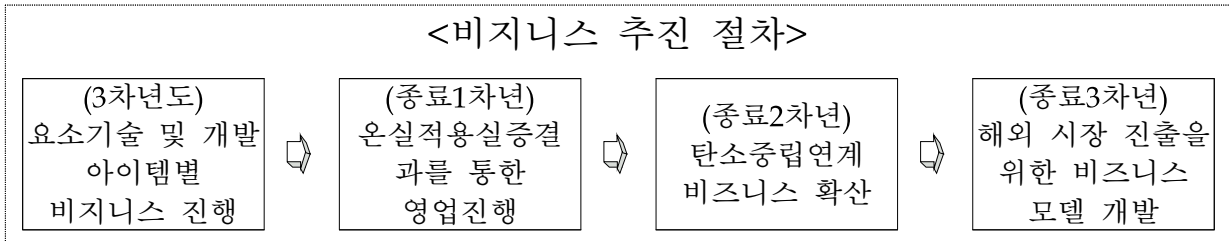
‘17년 시설원예의 전체 재배면적은 51,997 ha이며, 이중 17.9%가 자동화시설이 적용되었으며, ’ 22년 예측된 시설원예의 전체 재배면적은 53,716 ha로, 이중 26.9%가 자동화시설이 적용될 것으로 예측함

자동화시설이 적용된 시설원예 재배면적은 ‘17년부터 ’ 22년까지 연평균 9%의 성장률을 보일 것으로 예상됨



국내 스마트팜 시장 중 시설원예 분야의 시장규모는 ‘17년 6,826억 원, ’ 22년 1조 583억 원으로 예측되어 연평균 9% 대의 증가가 예상되며, 이는 국내 스마트팜 전체시장의 연평균 성장률 6%보다 3% 높은 비율임

2) 비즈니스 추진 절차 요약



3) 비즈니스 모델 개발 및 제시

(1) 국내 사업화 계획

- PVT 요소기술을 이용한 비즈니스 모델 개발

가. 정부 정책시행 연관 사업화 전략

1) 시범 보급사업 편입을 위한 KS 적용 전략

가) 신재생에너지원으로 인정 : PVT로 카테고리 형성 필요, 이에 따른 국내 PVT 제조사들의 협의체 구성

나) 설치 기준 마련 : 태양에너지협회 등을 통한 설치기준 재정

2) 시범적 사업을 통한 초기 사업화

가) 시범적 사업 대상 사이트 발굴 : 스마트팜 사이트 발굴(건축물대장이 있는 시설)

나) 테스트 베드로 이용 : 해외 진출 및 KS 제정 전까지 초기 시장에서의 데이터 확보

다) 실증단지를 영업홍보 사이트로 이용 : 국내외 바이어에게 실증단지를 소개하고 방문, PVT

나. 국내 사업화 추진 계획

1) 국내 사업 추진 계획

가) 정부지원사업

: 시범적 사업을 통한 사업 추진

- ㉠ 온실 및 스마트팜에 시범적 사업 추진
- ㉡ 식품공장 및 식물 가공시설에 시범사업 추진
- ㉢ 축사 등에 시범사업 추진

나) 스마트팜 관련 사업

- ① 스마트팜, 아쿠아포닉스 농업법인 회사와 연계하여 기술 적용 예정

2) 해외 사업화 추진 계획

- 국내 성공사례를 통한 해외 기술 판매 및 확산

가) 해외 Reference 개발

- ① 타켓 산업은 온실 제어 기술을 필요로 하는 스마트팜
- ② Reference 개발 예상 규모는 1~3억원 정도의 프로젝트

나) 해외 대리점 개발

- ① 해외 스마트팜 영업활동을 하는 국내 업체들과 제휴하여 대리점 개발
- ② 선발 기준은 설치 및 유지보수를 할 수 있는 업체

다) 해외 영업 인프라 이용

- ① Kotra 무역관을 통하여 바이어발굴 및 영업 인프라 구축
- ② 대리점 확보로 설치 및 유지보수 외의 영업 인프라 확보 가능

라) 해외 전시회 참가를 통한 홍보

- ① 2023년 기준 연간 2번의 전시회 참가를 계획하고 있음

마) 바이어 초청행사

- ① 바이어로 간주할 수 있는 업체 선별 하여 2박3일 초청 행사 진행
- ② 10 업체 초청 후 제품설명/공장투어/설치현장방문 실시
- ③ 연 2회로 10그룹씩 집행 예정

6.2. 시설구축에 따른 전시회, 신문, 잡지 등 홍보를 통한 사업화 전략 제시

1) 신문 잡지 등 홍보 전략

- 2023년 기준 연간 3회 홍보기사 기고 예정(장한기술)
: Kharn 잡지, 솔라투데이 등에 기고 예정

2) 해외 전시회 참가를 통한 홍보

- 2023년 기준 연간 2번의 해외 전시회 참가를 계획하고 있음

2) 연구개발 성과의 활용방안 및 기대효과

7-1. 연구개발 결과의 활용방안

- 신규 및 개보수 온실의 공조용 친환경에너지 설비 설치 가이드로 활용: 부가가치가 높은 작물을 안정적으로 생산하기 위한 온실 설치가 장려되고 있으며, 이 때 필요한 공조용 친환경에너지 설비를 구축할 때 활용
 - 기후변화 대응 신재생에너지 이용 온실 공조 시스템의 최적 용량 산정은 물론, 최적 운용·관리에 활용
 - 실증연구 결과를 통해 각 신재생에너지 설비의 장단점을 파악할 수 있으므로, 그 결과를 활용한 설치 및 운용 가이드로 활용
 - 설치비용 등 경제성을 고려하여 신재생에너지 설비를 선택적으로 이용하는데 참고자료로 활용
- 농산물의 저장 설비에 이용되는 에너지 설비 구축 시 활용: 농산물의 장기 보관 시 신선상태 유지를 위해 항온·항습 저장창고(냉장창고)가 이용되는 바, 이러한 저장창고에 신재생에너지 설비를 효과적으로 이용하는 방안을 강구하는데 활용
 - 지열원 및 냉각탑(공기열원) 이용 히트펌프와 보조용 축열시스템의 적절한 용량 산정과 운용·관리 방안 도출에 활용
- 냉난방 등 공조환경이 가축의 성장에 큰 영향을 미치는 축사 등에 적용할 수 있는 신재생에너지 설비의 결정과 설계 및 구축에 활용
- 태양열 이용 계간축열식 열공급 시스템 관련 실용화기술 개발과 실증운전을 통한 최적 운영방안 연구로, 중대규모 태양열 이용 시스템의 핵심 필요 기술 확보에 기여
 - TTES 방식 계간축열조 설치에 따른 초기투자비 부담을 경감하기 위해 경제성이 우수한 BTES 방식 계간축열조 설치기술을 병용함으로써, 태양열 시스템의 활용성 증대
 - 태양열 및 지열 이용 신재생에너지 설비 최적 복합 이용기술을 개발하고 제안함으로써, 향후 유사 설비들의 이용 시 기술적 기준으로서의 역할 기대
- 계간축열조 및 버퍼축열조 내 온도에 따라 히트펌프 등의 운전을 탄력적으로 운용하기 위한 운전/제어기술 개발을 통해, 연중 다양한 열부하(난방/급탕)에 대응할 수 있는 신재생에너지 기반 통합에너지 시스템 기술 확보
 - 효과적인 운전시나리오 구현을 통해 태양열 의존율 및 에너지 절감율 향상
 - 계간축열조 내 고온열 뿐만 아니라 중저온열 이용을 통해 계간축열조 열저장 능력 확대를 도모하며, 집열기 입구온도를 일정 수준 이하로 유지하여 태양열 시스템 효율향상 기대
 - 히트펌프 증발열원의 온도 상승에 따른 성능향상을 추구하면서, 안정적 운영이 가능한 운전 범위 확보

7-2. 기대성과 및 파급효과

- 온실에 적합한 신재생에너지 융복합 이용 공조 시스템으로써, 작물의 안정적인 생산량 확보가

가능하여 소득증대에 기여

- 작물에 따른 최적 환경을 조성함으로써 안정적 생육 및 생산량 확대에 기여
- 농업부분에서 무분별하게 사용되고 있는 화석연료 이용 감소와 온실가스 배출 저감으로 정부의 기후변화대응 정책에 기여
 - 유류에 크게 의존하고 있는 기존 온실용 에너지 사용을 신재생에너지 및 전력으로 전환
- 신재생에너지 이용에 따른 화석에너지 및 운영비용 절감 기대
- 정부·지자체 지원 하의 민간주도 태양열 기반 계간축열식 열공급 시스템의 확대 보급을 통해 태양열 및 지열 분야 시장 확대가 가능하며, 정체되어 있는 관련 분야 활성화 및 고용 창출에 기여
- 중대규모 신재생에너지 설비 및 계간축열조 설치에 따른 친환경에너지 이용에 대한 인식 고취
 - 체험 및 복지시설 등이 결합된 스마트 농장, 레저 복합 농장 등에 보급가능한 중대규모 신재생 열에너지 이용 기술로 보급가능성 양호
 - 중앙 집중관리가 가능함으로써 태양열 설비 신뢰도 제고 및 친환경에너지 홍보 효과 극대화 가능



[기대성과 및 파급효과]

< 별첨 자료 >

중앙행정기관 요구사항	붙임(별첨) 자료
1.	1) 자체평가의견서
	2) 연구성과 활용계획서
	3) 푸르메여주팜 통합설비 메뉴얼

[별첨 1]

자체평가의견서

1. 과제현황

		과제번호	120096-3		
사업구분	농업에너지 자립형 산업모델 기술개발사업				
연구분야	융복합(태양열, 지열) 에너지 생산·저장·관리 및 실증모델 구축	과제구분		단위	
사업명	에너지 저장·관리 기술개발사업			주관	
총괄과제	기재하지 않음		총괄책임자	기재하지 않음	
과제명	원예시설의 공조를 위한 태양열·지열 융복합 에너지 생산·저장·관리 및 실증모델 구축	과제유형		(기초,응용, 개발)	
연구개발기관	한국에너지기술연구원, 장한기술(주), 경북대학교		연구책임자	김민휘	
연구기간 연구개발비 (천원)	연차	기간	정부	민간	계
	1차년도	'20.04.29.~'20.12.31	1,500,000	500,000	2,000,000
	2차년도	'21.01.01.~'21.12.31	2,000,000	667,000	2,667,000
	3차년도	'22.01.01.~'22.12.31	1,500,000	375,000	1,875,000
	4차년도				
	5차년도				
	계	'20.04.29.~'22.12.31	5,000,000	1,542,000	6,542,000
참여기업	장한기술(주)				
상대국		상대국연구개발기관			

2. 평가일 : 2022.12.31

3. 평가자(연구책임자) :

소속	직위	성명
한국에너지기술연구원	선임연구원	김민휘

4. 평가자(연구책임자) 확인 : 김 민 휘

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

확 약	<i>Min-Hwi, Kim</i>
-----	---------------------

1. 연구개발실적

1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : 우수, 보통, 미흡, 극히불량)

본 연구개발은 농업분야에서의 화석에너지 사용과 에너지비용을 크게 감소시키기 위해서, 국내 최초로 원예시설에 태양에너지 및 지열 등 재생에너지의 융복합 이용과 장기축열 기술을 적용하여 열에너지의 효율적 이용을 실현시킨 실증연구로써, 당초 계획된 정량적 목표를 초과 달성하였으며 설비의 이용편의성을 추구하여 수요자도 만족하는 연구개발 결과를 도출하였음

2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : 우수, 보통, 미흡, 극히불량)

본 실증연구에서는 원예시설에서 필요한 냉난방 에너지의 상당부분을 태양에너지 및 지열 등 재생에너지원을 융복합 이용하여 공급할 수 있는 통합시스템 구축과 운용방안을 제시함으로써, 에너지비용 절감을 통한 농가수익 증진은 물론 제로에너지 원예시설 구축 등 농업분야에서의 재생에너지 이용 기술 확보와 함께 국가 탄소중립 목표 달성에도 기여하는 효과를 얻었음

3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : 우수, 보통, 미흡, 극히불량)

본 연구개발 결과인 재생에너지 융복합 이용 열/전기 에너지 공급 통합시스템은 농산물의 부가가치를 높이기 위해 급속히 증가하고 있는 원예시설의 냉난방 공조에 직접 활용할 수 있음. 또한 이러한 시스템의 최적 설계 및 운용을 위한 제어방안 등이 도출됨으로써, 기후변화에 대응하고 에너지 비용을 절감하는 에너지자립 기술로써의 활용가능성이 매우 우수함

4. 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : 우수, 보통, 미흡, 극히불량)

산학연으로 구성된 당 연구개발팀은 사업의 계획부터 각자 최상의 노력을 통해서만이 실현할 수 있는 목표를 설정하였으며, 진행과정 중 팬데믹 상황에서도 긴밀히 협력하여 본 연구개발을 성공적으로 수행하였음. 특히 2, 3차년도 설비구축 및 운용 단계에서는 먼 거리에 위치한 실증지임에도 불구하고 상시 방문하여 현장에서의 문제점 파악과 개선에 매진하였음

5. 공개발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급 : 우수, 보통, 미흡, 극히불량)

약 2.5년의 짧은 기간이었지만 실증연구를 위한 설비구축과 1년 이상의 실증운전을 성공적으로 수행하였고, 그 결과 당초 계획한 논문 및 지적소유권 목표 등을 초과 달성하였음. 특히 중앙일간지와 전문언론지 등에 '에너지자립형 스마트팜'이라는 내용 등으로 연구내용 및 성과가 홍보되어, 농림부 지원 에너지 관련 연구개발사업 추진의 당위성을 제고하는데 기여하였음

II. 연구목표 달성도

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
계간축열식 태양열 및 지열원 히트펌프 융복합 통합에너지 시스템의 연간 난방 분담율 80% 이상	20	100	태양열, 지열, 계간축열조 이용으로 530.6 MWh의 온열을 공급하여('22.1~'22.12) 분담율 93% 달성*
통합에너지 시스템의 연간 냉방 분담율 50% 이상	20	100	지열 및 하이브리드 히트펌프 이용으로 112.0 MWh의 냉열을 공급하여('22.7~22.10) 분담율 100% 달성*
통합에너지 시스템의 연간 에너지비용 절감율 70% 이상	20	100	기존 (면세)등유 및 (산업용)전력 이용 보일러 대비 각각 97.3% 및 96.6% 절감*
통합에너지 시스템 운전 매뉴얼/ IoT기반 모니터링/제어시스템 구축	20	100	통합시스템 운용 및 성능분석을 위한 제어/모니터링 시스템을 구축하였고, 수요자 편의성이 향상된 IoT기반 시스템 구축도 완료
온실용 보급형 통합에너지 시스템 표준모델 3건 이상	20	100	보급형 통합에너지 시스템 표준모델 4건을 제시하여 목표를 초과 달성
합계	100점	100%	※ 근거: 보고서 내 데이터 분석 참조

III. 종합의견

1. 연구개발결과에 대한 종합의견

- 본 연구에서는 태양에너지 및 지열 등 재생에너지를 융복합 이용하여 4,300㎡(1,300평) 규모 온실의 냉난방 에너지를 공급하기 위한 통합시스템을 구축하며, 실증운전을 통해 성능 및 경제성을 분석하고 운용방안 등을 제시하는 것을 목표로 하였음
- 산정된 냉난방 부하를 바탕으로 태양열 집열기, PVT, 지열원 및 계간축열조 잔열 이용 히트펌프, 탱크방식(TTES) 및 지중축열방식(BTES) 계간축열조 등을 최적 설계하고 통합시스템을 실증지에 구축하였으며, 효율적인 운용을 위한 제어시스템과 성능분석을 위한 모니터링 시스템을 설치하였음
- 1년 이상의 실증운전을 통해 통합시스템의 성능을 분석하였으며, 그 결과 목표한 난방 및 냉방 분담율과 에너지비용 절감율을 (초과)달성한 것으로 분석되었음(PVT 발전량 고려)
- 목표값으로 제시하지는 않았으나 온실가스 배출저감율도 산정하였고, 그 결과 등유 및 전기 보일러 대비 53.4% 및 73.1%의 온실가스 배출량을 저감한 것으로 파악되었음
- 또한 논문 등 학술성과와 지식재산권 등 사업화지표 역시 목표를 (초과)달성하였으며 단지 매출액만 '22년 말 기준 목표 대비 50%에 그쳤으나, '23년 내에 당초 목표 이상의 매출이 발생할 것이 확실시 됨
- 과제종료 후에도 수요자가 통합시스템을 원활히 운용할 수 있도록 매뉴얼을 작성하여 제공하였고, 모바일기기를 통해 확인/운전할 수 있는 IoT 기반의 모니터링 및 제어 시스템을 추가 개발하여 제공함으로써 유지관리 편의성 확보에 노력하였음
- 과제 수행 중 3개 참여기관 간 협력은 매우 활발하게 이루어졌으며, 수요자인 푸르메농원측과도 원활한 협조가 이루어져 성공적인 기술개발이 가능했던 것으로 판단함. 특히 참여기업 및 참여 대학 측에서 주관기관 못지않은 책임 있는 자세를 견지해준 것은 높이 평가되어야 할 것임
- 다만, 제한된 연구기간 때문에 구축된 실증단지 내 에너지효율성을 평가하는 기간이 1년 정도로 짧았던 점은 매우 아쉬우며, 해당 실증단지 대상 추가 실증운전 및 개선을 통해 보다 고도화되고 신뢰성 있는 신재생에너지 융복합 이용 에너지자립형 원예시설 구현이 완성되기를 희망함

2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

- 산정된 부하를 바탕으로 적절한 용량의 재생에너지 설비들이 설치되고 이들의 융복합 이용을 통해 온실 내 냉난방이 원활하게 이루어져 제반 목표를 달성할 수 있었음을 평가해주시기 바람
- 약 2.5년의 짧은 연구기간 중에도 1년 이상의 실증운전을 수행하였고, 이를 위해 각 참여기관이 적극 협력하고 최대의 노력을 기울였음 평가해주시기 바람
- 추가 실증연구의 기회가 주어진다면, 기 구축된 재생에너지 융복합 이용 통합시스템의 고도화와 신뢰성 제고를 통해, 국내 최초의 에너지자립형 온실 시범단지로서의 위상을 갖출 수 있을 것으로 확신함. 특히 지중축열방식의 효율성을 평가하고 분석하기 위해서는 중장기 운용결과가 필수적이므로 추가적인 실증연구가 요구됨

3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

- 본 과제는 건물 및 산업 등 각 분야에서의 기후변화 대응 노력에 발맞추어, 농업분야에서 시도하고 있는 탄소중립 원예시설의 기반기술을 확보하기 위한 연구개발 중 하나임
- 기존 등유 및 전력 사용을 탈피하려는 원예시설의 에너지자립을 위한 연구개발을 통해, 온실의 냉난방 부하산정과 함께 최적의 재생에너지 이용 전력 및 열에너지 기반 통합에너지 시스템 설계/구축/운용 기술을 확보하였음
- 또한 향후 본 실증단지와 유사한 수준의 재생에너지 융복합 이용 통합시스템을 도입하려는 수요자에게 도움이 될 수 있도록, 재생에너지 설비의 경제성과 현장여건을 감안한 4건의 보급형 온실 표준모델을 제시하여 활용성을 확대시켰음
- 당 연구팀이 철수한 후에도 통합시스템이 원활하게 운용될 수 있도록 비전문가도 이해할 수 있는 운전 매뉴얼을 작성하였으며, 모바일기기로 운전상태 확인 및 제어가 가능하도록 IoT 기반의 제어 및 모니터링 시스템을 추가로 구축하여 제공하였음. 이러한 결과물은 본 연구내용을 타 시설에 적용하려는 경우 매우 유익하게 활용될 것으로 판단됨
- 본 연구결과는 신재생에너지 적용성 확대 및 제로에너지 온실 구현을 위한 기존 최상의 기술로써, 농업부문에서 무분별하게 사용되고 있는 화석연료 이용 감축과 온실가스 배출 저감으로 정부의 탄소중립 목표 달성 및 기후변화대응 정책에 크게 기여함
- 작물의 안정적 생산량 확보와 부가가치 향상을 통한 농가 소득증대에 기여하기 위해서 원예시설에서의 에너지 사용이 확대되고 있는 바, 본 실증연구의 결과는 이러한 에너지 다소비 시설용 신재생에너지 공급설비의 최적 설계 및 운용관리에 활용할 수 있음
- 연구결과의 확장을 통해 온실 외 축사나 저온창고 등 에너지소비를 통해 부가가치를 높일 수 있는 각종 농축산업 시설에서의 친환경 통합에너지 설비로써 활용 가능하도록 개선될 수 있음
- 태양열 시스템과 연계된 TES(탱크방식 계간축열) 내 고온열원뿐만 아니라 잉여 중저온 열원을 효과적으로 활용방안을 제시함으로써 계간축열조의 축열능력 향상과 태양열 시스템의 효율향상에 기여하였으며, 이 결과는 중대규모 태양열 시스템의 운용방식 개선에 폭넓게 활용할 수 있음
- TES 대비 경제적인 BTES(지중축열방식 계간축열)를 병용하여 태양열 시스템에서 생산된 열이나 히트펌프 배열을 적극적으로 활용할 수 있는 방안을 제시하였고, 향후 유사 설비들을 이용하는 경우 기술적 기준사례가 될 수 있음(단, BTES의 효율성을 정확히 분석하기 위해서는 3~5년 정도의 실증연구가 필요하여, 본 연구기간 내에는 다루지 못하였음)

IV. 보안성 검토

보안성 없음

1. 연구책임자의 의견

- 연구결과는 국내 원예시설에 널리 보급되어야 하는 통합에너지 시스템의 설계/구축/운용 방안을 포함하고 있어, 유용한 참고자료로 활용되어야 함

2. 연구개발기관 자체의 검토결과

- 연구책임자의 보안성 관련 의견에 동의함
- 단, 참여기관이 출원/등록한 지식재산권은 보호받을 수 있도록 노력해야 함

[별첨 2]

연구성과 활용계획서

1. 연구과제 개요

사업추진형태	<input type="checkbox"/> 자유응모과제 <input checked="" type="checkbox"/> 지정공모과제	분 야	융복합(태양열, 지열) 에너지 생산·저장·관리 및 실증모델 구축	
연구과제명	원예시설의 공조를 위한 태양열·지열 융복합 에너지 생산·저장·관리 및 실증모델 구축			
주관연구개발기관	한국에너지기술연구원		주관연구책임자	김민휘
연구개발비	정부지원 연구개발비	기관부담연구개발비	기타	총연구개발비
	5,000,000천원	-	1,542,000천원	6,542,000천원
연구개발기간	2020.04.29. ~ 2022.12.31.(2년 8개월)			
주요활용유형	<input checked="" type="checkbox"/> 산업체이전 <input type="checkbox"/> 교육 및 지도 <input type="checkbox"/> 정책자료 <input type="checkbox"/> 기타() <input type="checkbox"/> 미활용 (사유:)			

2. 연구목표 대비 결과

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
① 통합에너지 시스템 난방 분담율 80% 이상	93% 분담(2022년 총 난방운전 운전결과 분석)
② 통합에너지 시스템 냉방 분담율 50% 이상	100% 분담(2022년 총 냉방운전 운전결과 분석)
③ 연간 에너지비용 절감률 70% 이상	면세등유/산업용전력 대비 각각 97.3% 및 96.6% 절감
④ 보급형 통합에너지 시스템 표준모델 3건	4건

3. 연구목표 대비 성과

(단위 : 건수, 백만원, 명)

성과 목표	사업화지표										연구기반지표								
	지식 재산권				기술실시 (이전)		사업화				기술인 증	학술성과			교육 지도	인 력 양 성	정책 활용·홍보		기 타
	특허출원	특허등록	표준/특허 등록	S M A R T	건 수	기술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출		투 자 유 치	논 문				학 술 발 표	정 책 활 용	
											S C I		비 S C I	평 균 I F	정 책 활 용	홍 보 전 시			
단위	건	건	건	건	백 만 원	건	백 만 원	백 만 원	명	백 만 원	건	건	건	명	건	건			
가중치		15					10	20		30			10	5	5	5			
최종목표	3	1					1	2,000		6			3	2	2	4	3	1	
당해 년도	목표	2	1				1	2,000		3			2	1	2	2	1		
	실적	2	1				1	1,009		0			2.5	2	3.7	3	1		
최종실적	5	1					1	1,009		7			3.5	3	3.4	10	3	1	
달성률(%)	100	100					100	50		100			100	100	100	100	100		

4. 핵심기술

구분	핵심기술명
①	계간축열 포함 재생에너지원으로 구성된 통합에너지 시스템 설계/구축 기술
②	온실 냉난방 부하의 대부분을 담당하도록 하는 통합에너지 시스템 운용/관리 기술
③	

5. 연구결과별 기술적 수준

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

6. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
①의 기술	온실을 포함한 다양한 농축산업용 에너지소비 시설에서의 신재생에너지 융복합 이용 친환경에너지 공급 시스템 설계 및 구축이 가능
②의 기술	농축산업용 에너지다소비 시설에서의 운용을 통해 국가 온실가스저감 및 탄소중립 목표에 기여하며, 에너지 시스템 운영비용 절감으로 수요자인 농업인 이익 상승 기대
③의 기술	

7. 연구종료 후 성과창출 계획

(단위 : 건수, 백만원, 명)

성과 목표	사업화지표										연구기반지표										
	지식 재산권				기술 실시 (이전)		사업화				기술인증	학술성과				교육지도	인력양성	정책 활용·홍보		기타 (타연구활용등)	
	특허출원	특허등록	품종등록	SMART	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용창출		투자유치	논문 SCI	논문 비SCI	논문 평균 I/F			학술발표	정책 활용		홍보 전시
단위	건	건	건	건	건	백만원	건	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	건	명	명	건	건		
가중치		15					10	20		30				10	5	5	5				
최종목표	3	1					1	2,000		6				3	2	2	4	3	1		
연구기간내 달성실적	5	1					1	1,009		7				3.5	3	3.4	8	3	1		
연구종료후 성과창출 계획		2						1,100						1	1	2	2				

[별첨 3]

푸르메 여주팜 재생에너지 융복합 설비 운전 및 유지관리 매뉴얼

2022.12.

한국에너지기술연구원

머 리 말

□ 매뉴얼 필요성

- 푸르메 여주팜은 다양한 재생에너지 설비를 융복합 이용하여 스마트팜의 에너지 자립을 실현하려는 목적을 갖는 실증단지로서, 안정적 운용을 위해 효과적인 운전 및 철저한 유지관리가 매우 중요함
- 전기에너지(전력)와 열에너지를 동시에 생산하는 태양광·열(PVT) 시스템 중 태양광 시스템의 경우 생산된 전력이 매전되지 않고(한전에 상계처리 되지 않음) 건물내 전력 사용량을 대체하기 때문에 관리자는 꾸준한 모니터링 및 건물내 전기 사용 부하를 감시하여 효율적인 운영이 필요하다.
- 그러나 열에너지 관련 설비는 생산된 열에너지를 스마트팜에 직접 공급하기 때문에, 관리자는 각 재생에너지 설비의 기본적인 특성 및 유지관리 방법은 물론 냉난방 운전 시 각 설비의 제어 방식 등에 대한 기본적인 지식을 이해하고 있어야 함

□ 매뉴얼의 목적

- 본 매뉴얼에서는 재생에너지를 융복합 이용하여 열에너지의 중앙공급방식을 취하고 있는 푸르메 여주팜 내 각 열에너지 설비의 운전제어 방법과, 해당 설비의 기본적인 유지관리 지침을 제시하고자 함
- 즉, 각 설비의 설치업체가 제공한 매뉴얼은 물론 실증연구를 통해 확립된 운전제어 방식에 대한 내용을 관리자에게 전달함으로써, 관리자가 통합 시스템을 운전하는데 필요한 지식 및 방법을 습득하는데 도움을 주고자 함
- 비전문가인 관리자가 단기간의 교육과 본 매뉴얼을 통해, 푸르메 여주팜 내 신재생에너지 융복합 이용 설비를 효율적으로 운전할 수 있도록 함

□ 기타

- 신규 관리자는 본 매뉴얼을 숙지한 후, 관리 유경험자와 함께 통합 시스템 운전을 수행하면서 운전관리 방법을 습득해야 함
- 본 매뉴얼에는 다양한 신재생에너지 설비의 제어변수 변경 방법을 포함하고 있으며, 기본적인 운전방식 및 제어개념은 최종보고서 본문 제3장 제4절 ‘신재생에너지 융복합 설비 운전 개요 및 제어’를 확인해야 함
- 제어개념 및 제어로직을 구현하는 제어 프로그램은 최종보고서 부록 2를 참조

제1장 푸르메 여주팍 설비 개요

1. 푸르메 여주팍 개요

제로에너지 온실을 구현하기 위해서는 제로에너지건물과 유사하게 패시브요소, 액티브요소, 그리고 신재생에너지에 대한 적용을 조합하는 것이 중요하다. 최근까지 농업분야에서 신재생에너지 적용과 관련하여, 농가의 소득향상과 연관하여 영농형 태양광 발전에 대한 적용이 많이 진행되어 왔다. 기존의 농지에 태양광 패널을 설치하거나, 작물을 재배하는 두 가지를 따로 운영하는 방식이 아닌, 상부에서는 태양광 발전을 통해 발전소득을 얻고, 하부에서는 작물재배를 통해 농작물을 재배하여 태양광 발전과 농작물 재배를 동시에 진행하는 방식에 대한 영농형 태양광이 각광받아 왔다.

신재생에너지 중 태양열 집열기의 경우 난방과 급탕에 필요한 열을 직접생산할 수 있다는 측면에서 오래전부터 각광받아왔다. 하지만, 태양광 발전과 같이 여름철에 태양열 집열이 가장 많이 되나, 여름철 건물이나 산업분야에서 난방과 급탕 수요가 부족하기 때문에, 잉여열이 발생하게 되고 이로 인한 태양열 집열기의 과열로 인한 문제가 발생되어왔다. 이를 해결하기위한 방안은 크게 두 가지로 볼 수 있는데, 태양열 집열기에서 생산된 열을 활용하여 흡수식 혹은 제습냉방 등 열이용 냉방설비를 이용하여 건물의 냉방에 활용하는 방법과 축열조에 저장하였다가 겨울철에 활용하는 방식으로 나뉠 수 있다. 이 중 봄에서 가을까지 생산된 열을 축열조에 저장했다가 겨울철 난방에 활용하기위한 대단위 축열조를 계간축열조 seasonal thermal energy storage(STES)라 한다.

본 푸르메 여주팍은 태양열시스템 및 계간축열 시스템을 활용한 재생에너지 융복합시스템의 시설원에 적용성을 분석하였다. 전기와 열을 동시에 생산하는 태양광열 집열기(PVT)와 일반 태양열 집열기(ST), 공기식 및 계간축열조 열원이 가능한 복합열원 히트펌프(MSHP), 지열원 히트펌프 시스템(GSHP), 그리고 계절간 및 일간 부하 평준화를 위한 계간축열조를 포함한 축열시스템(TES)으로 재생 융복합시스템을 구성하고, 시설원에 실증단지를 대상으로 제안된 시스템의 에너지 성능 및 적용성을 분석한 연구이다.

본 시범사업은 기술개발을 포함하는 실증연구 사업(2020.4~2022.12)으로써 2020년 4월에 착수되었으며, 푸르메 여주팍의 모든 재생에너지 설비와 열 네트워크, 그리고 제어 및 모니터링 시스템 등(이하 재생에너지 융복합시스템)은 2021년 6월에 준공하여 운전 중이다.

2. 푸르메 여주팜 설비 및 대상 스마트팜 개요

가. 재생에너지 융복합시스템 구성 설비 제원

설비명	주요제원	비고
복합열원 (수열/공기열) 히트펌프	복합열원 HP1(TTES열원, HP1-1, HP1-2) - 74.2 kW(20 RT) × 2 (R407C) 복합열원 HP2(BTES열원, HP2-1, HP2-2) - 74.2 kW(20 RT) × 2 (R407C) 지열원 HP3(HP3-1, HP3-2) - 76.9 kW(25 RT) × 2 (R410A)	456 kW (130RT) -난방기준
태양열 집열기	평판형 설치면적 462 m ² - 1,000×2,000×90 mm × 231 장	
태양광·열 시스템	설치면적 233.3 m ² , 43.875 kW - 발전용량 375 W × 117 장	
계간축열조	TTES 스테인리스 구조 (SS 275) - H 15 m × D 9.23 m 디퓨저 STS 304 1.5 m마다 RTD 온도센서 부착 단열 바닥 100 mm, 측면 200 mm	유효체적: 1,020 m ³
	BTES 지중축열 (64개 지중열교환기) - 40 m × 25 m × 깊이 30 m	28,500 m ³
축열조	NTES 심야축열조 - 6.6 m × 4.4 m × H 5.25 m	유효체적: 120 m ³
	STTS-s1 (태양열 집열기-BTES) - 3.0 m × 2.0 m × H 5.25 m	유효체적: 20 m ³
	STTS-p1 (태양광·열 집열기-BTES) - 3.0 m × 2.0 m × H 5.25 m	유효체적: 20 m ³

* HP : 히트펌프 (Heat Pump)

* TTES : 탱크방식 계간축열조 Tank type seasonal Thermal Energy Storage

* BTES : 지중방식 계간축열조 Borehole type seasonal Thermal Energy Storage

* NTES : 심야축열조 Nighttime Thermal Energy Storage

* STTS-s1 : 태양열 집열 축열조 Solar Thermal system Thermal energy Storage

* STTS-p1 : 태양광·열 집열 축열조 PVT system Thermal energy Storage

- 주요 설비 사진



복합열원 및 지열원 히트펌프



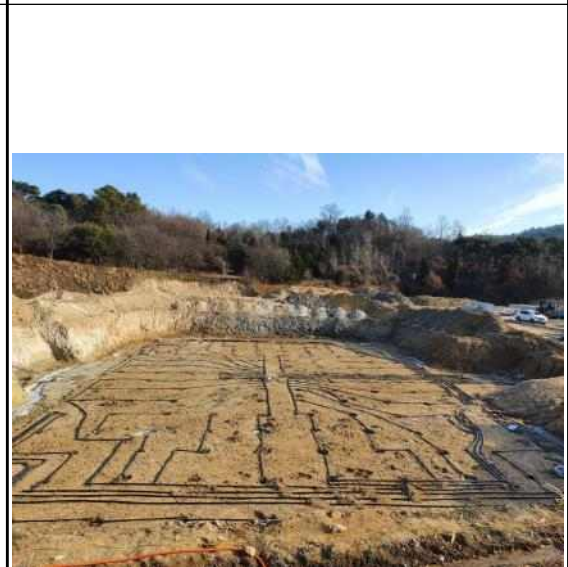
복합열원 히트펌프



재생에너지 전기판넬



TTES 계간축열조



BTES 계간축열조



태양열 집열기



PVT (태양광·열) 패널



NTES 심야축열조



축열조

나. 대상 스마트팜

실증대상 시설원예인 푸르메 여주팜은 여주시 오학동에 위치하고 있으며, 베이커리카페, 교육 문화동, 유리온실, 기계실 및 가공동으로 구성된다. 푸르메 여주팜은 2021년부터 완공 및 농작물 재배가 진행중에 있다. 이 중 본 연구에서는 Farm-1 (2,160 m²)과 Farm-2 (1,782 m²) 총 3,942 m²(0.39 ha)에 대한 냉열 및 온열을 공급하는 것으로 실증대상을 선정하였다.

- 푸르메 여주팜 및 설비배치도



PVT : area : 233.3m² , slope: 15°

ST : slope: 2.89°

제2장 재생에너지 융복합설비 운전 매뉴얼

1. 시스템 운전 개요

가. 시스템 운영 개요

- 태양열 집열기를 통해 생산된 열에너지를 계간축열조에 저장하였다가, 열교환기를 거쳐 부하 측에 난방용으로 공급
- 재생에너지를 활용한 에너지 생산설비는 전기와 열을 동시에 생산하는 PVT와 태양열 집열기로 구성되어 있음
- 생산된 열에너지를 저장하는 설비는 탱크방식의 계간축열조(Tank type seasonal thermal energy storage, TTES)와 지중축열 계간축열조(Borehole type seasonal Thermal Energy Storage, BTES)를 복합 활용하는 방식으로 구성되어 있음
- TTES와 BTES로 구성된 계간축열조를 열원으로 온열을 생산하기위한 히트펌프가 있다. 이때, TTES를 열원으로하는 히트펌프(i.e., HP1)와 BTES를 열원으로하는 히트펌프(i.e., HP2)는 여름철 냉열을 생산하기위해 공기식으로도 활용이 가능한 복합열원 히트펌프MSHP로 구성하였음
- TTES와 BTES 열원 히트펌프로도 온열과 냉열공급이 부족한 경우를 대비한 지열원 히트펌프 GSHP (i.e., HP3)도 구성하였음

나. 태양열 시스템 이용 열에너지 생산

- 태양열 집열기에서 생산된 열은 TTES에 연중 축열됨
- TTES의 온도가 최대 설정온도(Tsfh, 65°C)보다 높아지면, BTES에 축열됨
- 난방운전이 시작되면 TTES에서 직접 난방열을 온실에 공급하고, TTES의 내부온도(TM2)가 온실공급 설정온도(Thsup, 65°C)보다 낮아지면 히트펌프를 활용하여 NTES에 온열을 저장하였다가 온실 난방에 활용함

다. PVT 시스템 이용 열에너지 축열

- PVT 시스템에서 생산된 전기는 별도로 건물내 전기시스템과 계통연계하여 기저 전력으로 사용
- PVT 시스템에서 생산된 열은 BTES에 연중 축열됨
- PVT 시스템에서 생산된 열은 기본적으로 BTES 중심부(inner side)에 저장되나, 태양열 집열기에서 생산된 열이 TTES를 설정온도(Thsup) 까지 저장 했을 경우, 태양열 집열기에서 생산된 열은 BTES 중심부(inner side)에 저장되며, PVT 시스템에서 생산된 열은 BTES 외곽부(outer side)에 저장됨

라. 히트펌프 시스템 이용 열에너지 공급

- 이때, TTES 열원 히트펌프와 BTES 열원 히트펌프, 그리고 지열원 히트펌프가 운영되면서 NTES에 축열함
- 온실의 난방부하가 예상보다 높을 경우를 대비하여 예비 전기히터를 구비하여, 만일의 사태를 대비하였음
- 복합열원 히트펌프 MSHP는 공기열원 운전모드와 수열원 운전모드에 대해서 수동으로 선택할 수도 있으며, 복합열원모드를 클릭하면, 자동으로 수열원의 온도를 히트펌프가 직접 모니터링

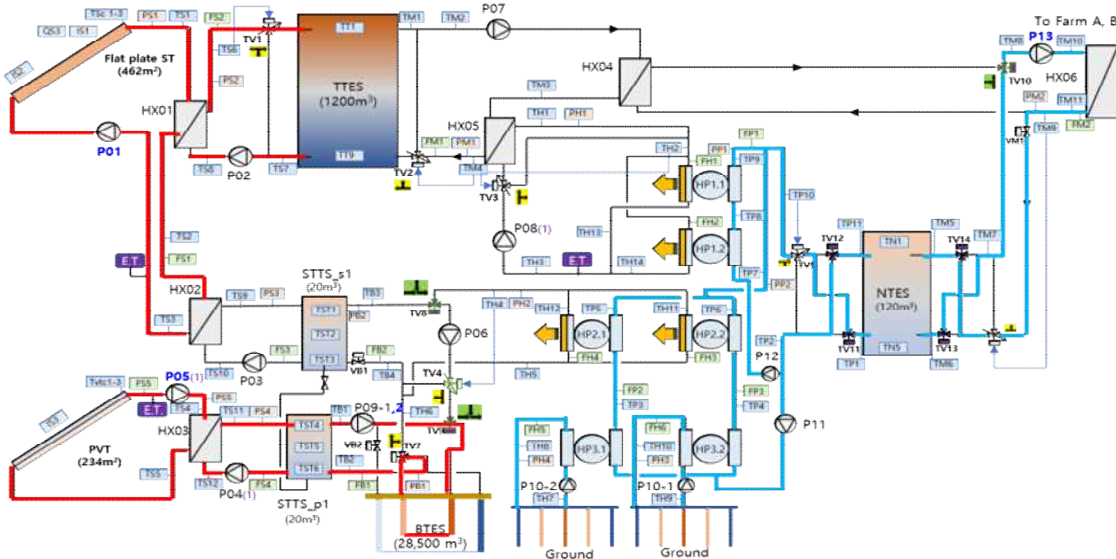
하면서 공기열원 운전모드와 수열원 운전모드를 선택하게 됨

- 특히 겨울철에는 수열원의 온도가 히트펌프의 고장에 영향을 미치는 수준인지를 스스로 판단하여 운영하게 됨

마. 운전모드별 제어

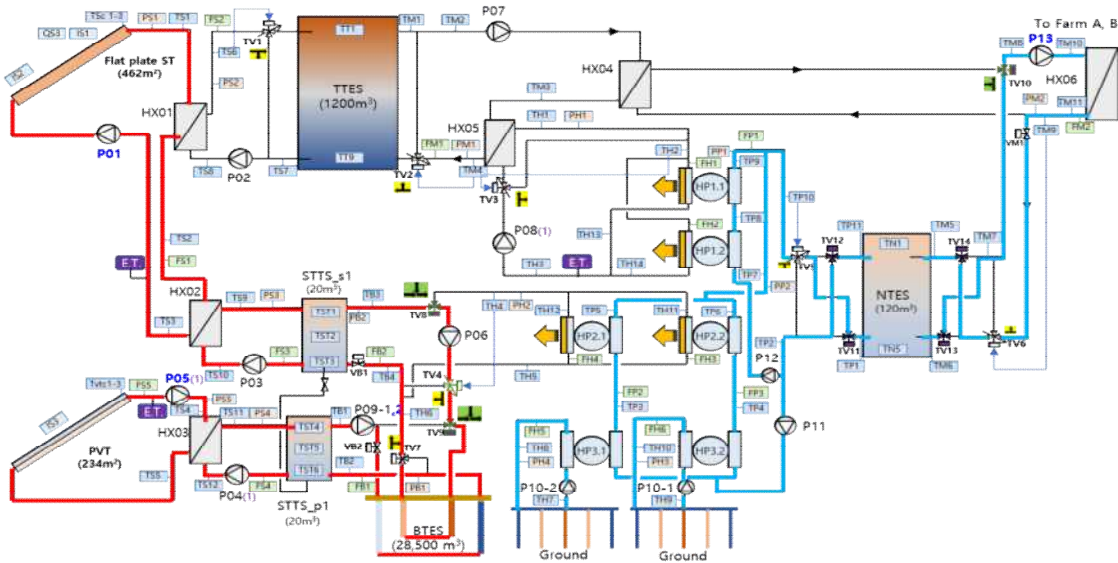
[냉방모드 1]

- 냉방모드 1(Cooling mode 1)은 4월에서 6월에 운영되며, 태양열 집열에 대한 축열운전과 냉방공급 운전으로 구성된다. 4월이 되기 이전에, TTES의 열은 난방 및 히트펌프의 열원으로 사용되어 축열조 내부온도가 20~25 °C를 나타낸다. 이때, 태양열 집열기에서 집열된 열은 TTES로 축열된다. PVT 시스템에서 생산된 열은 BTES 중심부(inner side)에 축열된다. 냉방공급을 위한 냉열 생산 시, BTES의 중심부의 온도가 20 °C 이하로 낮은 경우 BTES의 중앙부를 HP2 히트펌프의 열원으로 활용하여 NTES에 냉열을 저장한다. 이때, 주로 냉열의 생산은 지열원 히트펌프(HP3)가 담당하게 되며, HP1은 공기열원으로 냉열을 생산한다.



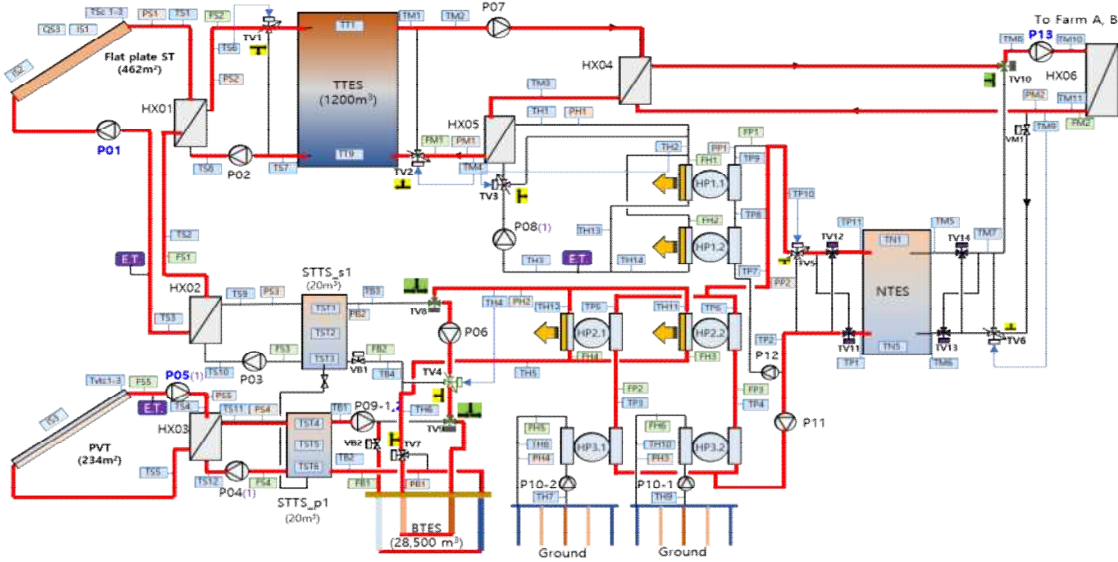
[냉방모드 2]

- 냉방모드 2(Cooling mode 2)는 7월에서 9월에 운영되며, TTES의 온도가 설정온도에 도달한 시기이다. 이때, 태양열 집열기에서 생산된 열은 BTES의 중심부(inner side)에 저장되며, PVT 시스템에서 집열된 열은 BTES의 외곽부(outer side)에 축열되어, 태양열 집열기를 통해 축열된 열의 열손실을 줄이는 역할을 하게된다. HP1과 HP2는 공기열원을 활용하여 냉열을 생산한다. 역시 냉열원 생산은 주로 지열원 히트펌프(HP3)가 담당한다.



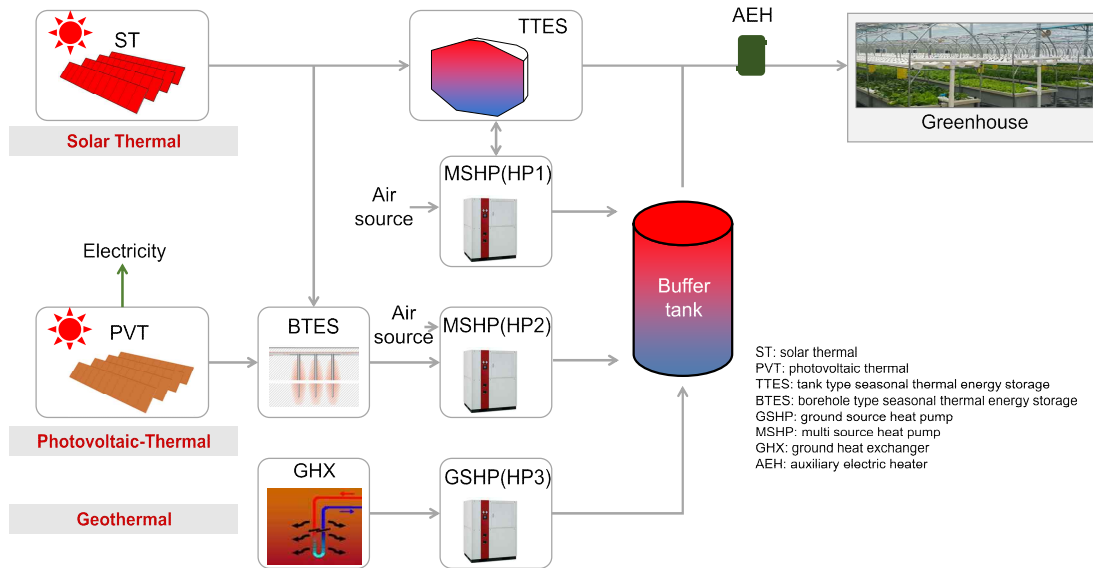
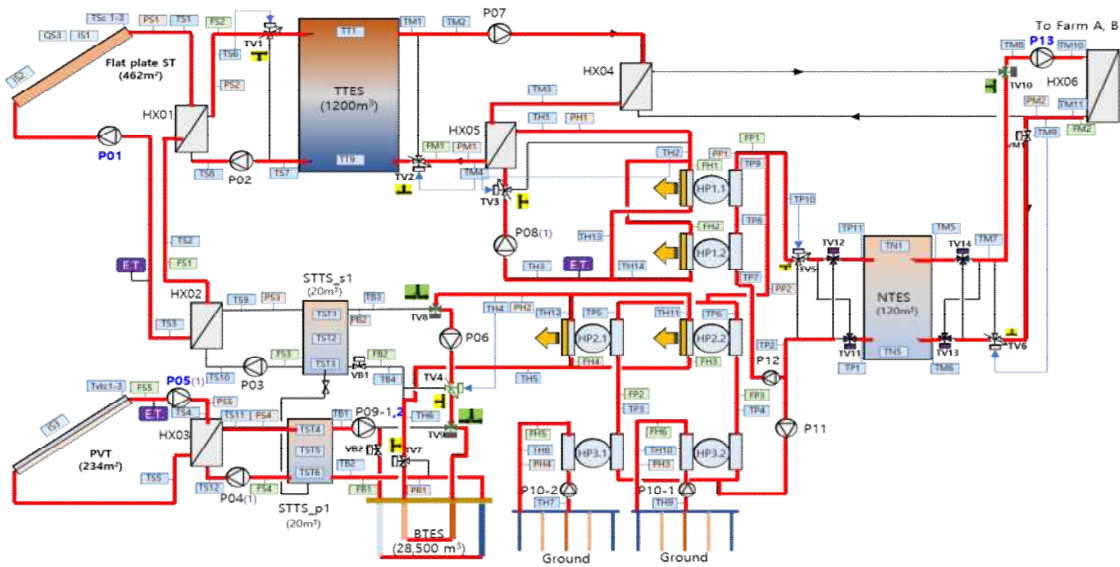
[난방모드 1]

- 난방모드 1(Heating mode 1)은 10월에서 11월로 예상되며, 태양열 집열기를 통해 TTES에 축열된 온열을 직접 공급한다. 이때, BTES에 축열된 열을 HP2의 열원으로 활용하여 NTES에 온열을 저장한다.

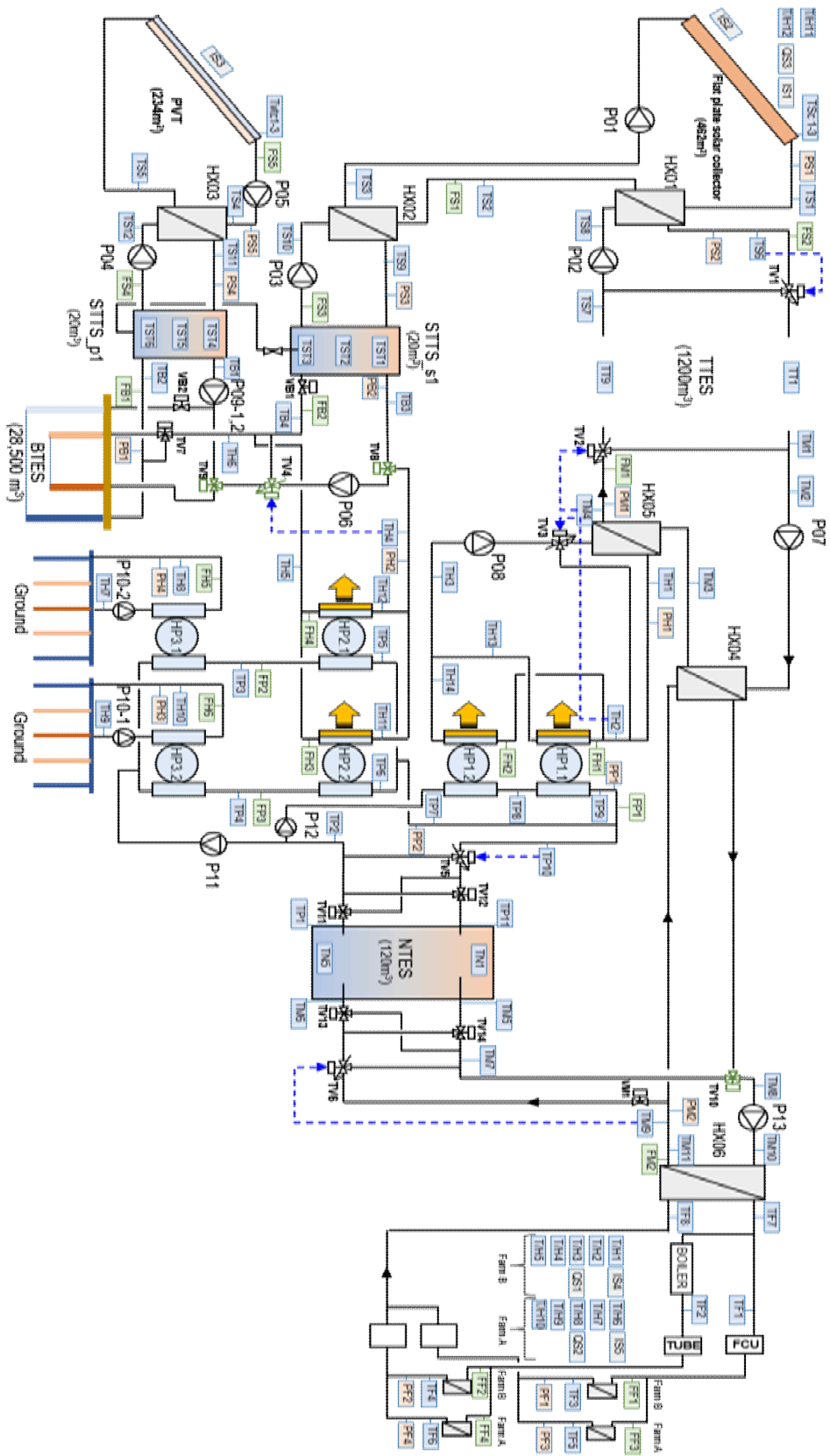


[난방모드 2]

- 난방모드 2(Heating mode 2)는 12월에서 3월로 예상되며, TTES의 온도가 50 °C 이하로 직접 온열공급이 어려운 시기에 TTES의 열을 열원으로 활용하여 HP1을 운영하고, PVT 시스템 및 태양열 시스템에서 축열된 BTES를 열원으로 활용하여 HP2를 운전하여 온열을 생산한다. HP1과 HP2의 열원온도가 20 °C 이하로 낮아지는 시기에 HP3을 활용하여 온열을 생산한다.



- 통합 시스템 배관개념도

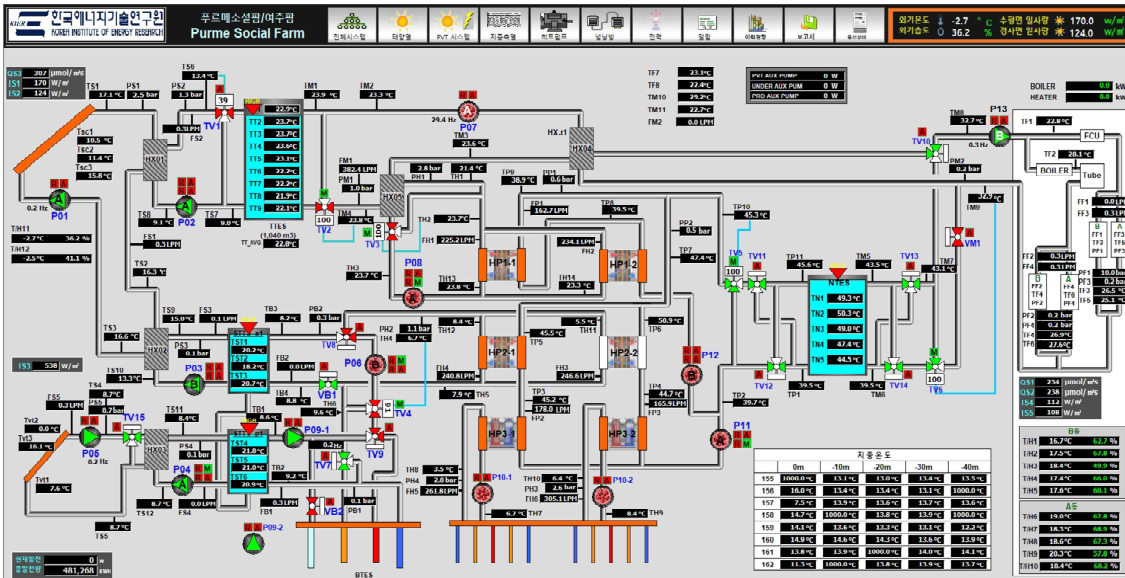


2. 자동제어 화면 매뉴얼

가. 개요

- 자동제어 시스템의 모든 기동/정지 및 기기의 상태와 경보를 실시간으로 감시 및 제어함으로써, 장비의 보전성, 안정성을 도모하고 시설 기능을 경제적으로 유지관리 하도록 하기 위함임
- 본 운영 매뉴얼은 기본적인 화면에 관한 간단한 설명서이며 제어에 관한 자세한 내용은 운전 개요를 참조

나. 메인화면 ‘전체시스템’



- 상부 메뉴창
 - 초기 ‘전체시스템’ 클릭시 위 화면이 나타남. 전체 시스템의 운영화면 표시
 - 우측 상단에는 외기 온도 및 습도와 일사량을 나타냄
 - 상단 메뉴화면에서 해당 항목 선택 시 그에 해당하는 화면창이 나타남
- 밸브류 기본 상태(현장상태)
 - 2way-밸브 : 밸브 붉은색 (열림), 초록색 (단힘)
 - 3way-밸브(open, close) : 붉은색 혹은 초록색으로 물이 흐르는 방향을 나타냄
 - 3way-밸브(비례제어밸브) : 숫자만큼 바이패스 측 열림 정도를 나타냄
- Open/close 밸브 수동조작 시, 조작 후 자동으로 설정하기 전에 반드시 조작 전 상태로 설정해야 함
- 순환펌프 A, B중 한 대는 예비용이므로 자동설정 시 한 대만 동작하며, ‘교번운전’ 선택시 펌프 작동이 정지된 뒤 재가동시 교번운전됨

다. ‘태양열’ 시스템



• 버튼설명

[Imin1 & Imin2]

① Imin1보다 IS2 일사량이 높으면 P01 동작, Imin2보다 IS2 일사량이 낮으면 P01 정지

[DTsc & DTstc]

① TS1과 TS7의 온도차가 DTsc 가 되도록 P01 PID 제어

② TS1과 TS7의 온도차가 DTstc 이하에서는 P01 정지

[Tsch & Tsch low]

① Tsc1~3 온도가 Tsch 보다 높으면 P01 동작, Tsch_low만큼 낮아지면 P01 정지

[Tsfh & DTsfh]

① TS7이나 TS8이 Tsfh보다 온도가 높으면 P02 정지, P03 동작

② TS1이 TS10+DTsfh 보다 높으면 P03 동작

▪ P01 운전

- 경사면 일사량 IS2가 기준값(Imin, Insolation minimum)이상일 때 집열펌프 P01 운전
 - ✓ IS2 > Imin1이면 P01 ON, IS2 <= Imin2이면 P01 OFF, 각각 tilag분 동안의 시간지연(time lag) 부여
- P01 인버터
 - 1) P02 ON 상태에서 TS1이 기준값(TS7+DTsc) 이 되도록 P01 Hz PID 제어
 - ✓ TS1 < TS7 + DTsc이면 P01의 유량을 줄이고, TS1 > TS7 + DTsc이면 유량 증가
 - 2) P03 ON 상태에서 TS1이 기준값(TS10+DTsc) 이 되도록 P01 Hz PID 제어
 - ✓ TS1 < TS10 + DTsc이면 P01의 유량을 줄이고, TS1 > TS10 + DTsc이면 유량 증가
- 과열방지 운전: 집열기 상단 집열매체 온도(TSc1~3)가 기준온도(Tsch) 이상이면 집열펌프 P01 운전
 - ✓ TSc1~3 > Tsch이면 P01 ON, TSc1~3 ≤ Tsch - 5°C이면 P01 OFF, 각각 tilag분 동안의 time lag

▪ **3-Way 밸브 TV1 PID 제어: 기본조건 → 방향**

- 축열조 입구 축열매체 온도 TS6가 기준값($T_{sf} = TS7 + DT_{stc}$) 이 되도록 개도를 조절하여 TS8을 조정
 - ✓ $TS6 < T_{sf}$ 이면 open (↘ 방향 개도 증가, TS8온도 증가), $TS6 \geq T_{sf}$ 이면 close (→ 방향 개도 증가)

▪ **P02 운전: 기본 전제조건 P01 ON**

- P01 ON 운전 중, TS1이 축열조 하단 출구온도 TS7보다 기준값 이상일 때 P02 운전
 - ✓ P01 ON & $TS1 > TS7 + DT_{sc}$ 이면 P02 ON, $TS1 < TS7 + DT_{sc}$ 이면 P02 OFF (각각 tilag분 동안의 time lag)
 - ✓ P01 OFF하면 tilag분 동안의 time lag 후 P02 OFF

▪ **P03 운전: 기본전제조건 P01 ON**

- P01이 운전중, TS7 or TS8이 기준값(T_{sfh}) 이상이 되면 TTES에의 저장을 멈추고 STTS_s1에 저장
 - ✓ P01 ON & P02 ON & $TS7 > T_{sfh}$ 이면 P02 OFF, P03 ON (STTS_s1에 축열)
 - ✓ P01 ON & $TS1 > TS10 + DT_{sfh}$ 이면 P03 ON,, $TS1 < TS10 + DT_{sfh}$ 이면 P03 OFF (각각 tilag분 동안의 time lag)
 - ✓ P01 OFF하면 tilag분 동안의 time lag 후 P03 OFF

라. ‘PVT’ 시스템

- PVT 시스템은 PVT패널과 태양광 설비인 접속함, 인버터 및 태양열 설비인 집열펌프(PP-05), 축열펌프(PP-04), 판형열교환기(HX-03), 축열조(STTS-p1), 3Way-Valve(TV-15), 및 각 위치의 온도/압력/유량 센서로 구성된다.
- 태양광 설비는 별도의 전력설비로 별도 운전되므로 태양열 설비에 대하여 다음과 같이 제어한다.

• 설정값



- Ipvmin1 (PVT 집열펌프 동작 최저일사량_운전조건) = ex) 300.0[W/m²]
- Ipvmin2 (PVT 집열펌프 동작 최저일사량_정지조건) = ex) 200.0 [W/m²]
- DTpvt (PVT 출구와 축열조 하부 온도차_축열펌프운전) = ex) 10.0[°C]
- DTstp (PVT 출구와 축열조 하부 온도차_축열펌프정지) = ex) 5.0[°C]
- Tvfrm ((PVT 동파방지-열매체 설정온도_축열펌프운전) = ex) 2.0[°C]
- Tvth (PVT 집열매체 최고온도_과열방지운전) = 사용안함
- Tvfr (PVT 동파방지운전 설정온도) = ex) -18.0[°C]
- DTVfr (PVT 동파방지운전 해제온도) = ex) 5.0[°C] (현열온도 -13.0 [°C])

● 기본운전 (집열/축열) 운전모드

PVT 시스템은 일사량계(IS3)의 측정되는 수치와 설정값(Ipvmin1, Ipvmin2)을 비교하여 집열펌프(PP-05) 및 축열펌프(PP-04)를 기동/정지 한다.

1) PP-05 제어방법 (PID제어)

① $Is3 > Ipvmin1$ 이면,

TV-15 open(AB→B) → tilag(60sec) → PP-05 on → tilag2(300sec) → $Ts04 > Tvfrm$ 이면,
TV-15 close(AB→A) & PP-05 on 유지.

$Is3 > Ipvmin1$ 이면,

TV-15 open(AB→B) → tilag(60sec) → PP-05 on → tilag2(300sec) → $Ts04 \leq Tvfrm$ 이면,
TV-15 open(AB→B) 유지 & PP-05 off

▶ 상기 Ts04 와 Tvfrm는 상시 만족 조건이 아닌, 순간 만족 조건.

▶ $Ts04 \leq Tvfrm$ 조건에 의해 정지시, tilag3(600sec) 정지 후 집열/축열 운전모드 재진입 조건 판단.

② $Is3 > Ipvmin1$ 또는 PP-05 on & PP-05 Hz 가 30Hz 이하 이면, PP-05 off

2) PP-04 제어방법 (차운제어)

① PP-05가 on & $Ts04 > Ts12 + DTpvt$ 이면, PP-04 on

② $PP-05$ 가 on & $Ts04 \leq Ts12 + DTstp$ 이면, $PP-04$ off

• 동파방지 운전 운전모드

PVT 시스템은 동절기 옥외 노출배관 및 PVT패널의 동파를 방지하기 위해, 외기온도와 설정값($Tvfr$, $DTvfr$)를 비교하여 동파방지 운전기능이 자동운전 된다.

- ① $외기온도 \leq Tvfr$ 이면, $TV-15$ open(AB→B) → tilag(60sec) → PP-05 on (최소Hz=30Hz)
- ② $외기온도 > Tvfr + DTvfr$ 이면, $PP-05$ off → tilag(60sec) → TV-15 open (AB→B) 유지
(정상 집열운전 or 추가 동파방지 재진입시 밸브 방향 변경에 대해서는 항시 재 판단)

마. ‘지중축열’



[Tst1h & Tst2h]

- ① STTS_s1 내부온도가 Tst1h 보다 높으면 P06 운전 개시
- ② STTS_p1 내부온도가 Tst2h 보다 높으면 P09-1 운전 개시

[DTst1 & DTst2]

- ① STTS_s1 내부온도가 Tst1h-DTst1 보다 낮으면 P06 정지
- ② STTS_p1 내부온도가 Tst2h-DTst2 보다 낮으면 P09-1 정지

기본	밸브	Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 4	Mode 5
----	----	--------	--------	--------	--------	--------

					On	Off	
F/C	VB1	F/C		F/O	F/C	F/C	F/C
F/O	VB2	X		F/O	F/C	F/O	F/O
Open	TV4	Open		Open			
F/C	TV7	F/C		F/C	F/O	F/C	F/C
F/O	TV8	F/O		F/C	F/O	F/O	F/O
F/O	TV9	F/O		F/O	F/C	F/O	F/O

[난방모드] - 히트펌프 기준

• **(Mode 1) HP2 난방열원 운전 ON**

- 기존 HP2 운전 신호 시 ON (수열원 축출)

• **(Mode 2) ST TTES 축열운전 ON**

- P02 가동시

• **(Mode 3) ST BTES 내부 지중 축열운전 OFF**

- 상시 OFF

• **(Mode 4) PVT BTES 내부 지중 축열운전 ON**

- HP2 난방열원 운전 OFF 시 mode 4 ON

- (TST4 > Tst2h) AND (HP2-1 AND 2-2) OFF 이면(mode 1 off & TST4OK) Mode 4 ON

* **VB2 close, TV7 open(↑), TV9 close(→)** + time lag 후 P09-2 ON

- (TST4 ≤ Tst2h - DTst2) AND (HP2-1 AND 2-2) OFF 이면 PVT BTES 내부 지중 축열운전 OFF

* P09-2 OFF + time lag + VB2 open, TV7 close(↑), TV9 open(↓)

** PVT BTES 내부 지중 축열운전 ON 중 HP2-1 or HP2-2 ON 이면 (P06, P09-1, P09-2 모두 멈추고),

PVT BTES 외부 지중 축열 운전 모드(VB2 open, TV7 close(↑), TV9 open(↓))로 밸브 변경

*** **밸브 기본 위치 : VB2 open, TV7 close(↑), TV9 open(↓)**

• **(Mode 5) PVT BTES 외부 지중 축열운전 ON**

- HP2 난방열원 운전 ON 시 외부 지중 축열운전 ON

- (TST4 > Tst2h) AND (HP2-1 or 2-2) ON 이면 PVT BTES 외부 지중 축열운전 ON

* VB2 open, TV7 close(↑), TV9 open(↓) + time lag 후 P09-1 ON

- (TST4 ≤ Tst2h - DTst2) AND (HP2-1 or 2-2) ON 이면 PVT BTES 내부 지중 축열운전 OFF

* VB2 open, TV7 close(↑), TV9 open(↓) (밸브 운전 동일) P09-1 OFF

바. ‘히트펌프’



- 버튼설명

[Thin & Tcin]

- ① (HP1.1) P12 ON & 난방 & TP8>Thin or 냉방 & TP8<Tcin이면 HP1.1 정지
- ② (HP1.2) P12 ON & 난방 & TP2>Thin or 냉방 & TP2<Tcin이면 HP1.2 정지

[Tshmin & Tscmax]

- ① 난방운전 & P13 ON & TV10 close, TM7 < Tshmin이면 HP 시스템 on
- ② 냉방운전 & P13 ON 일 때, TM7 > Tscmax이면 HP 시스템 on

[tilaghp]

- ① 히트펌프 열원 및 생산측 펌프 가동 다음 tilaghp분 후 HP 가동
- ② HP 정지 다음 tilaghp분 후 히트펌프 열원 및 생산측 펌프 정지

사. '냉난방'



- 버튼설명

[Thsup]

- ① TTES계간축열조에서 NTES로 난방 열공급 전환온도

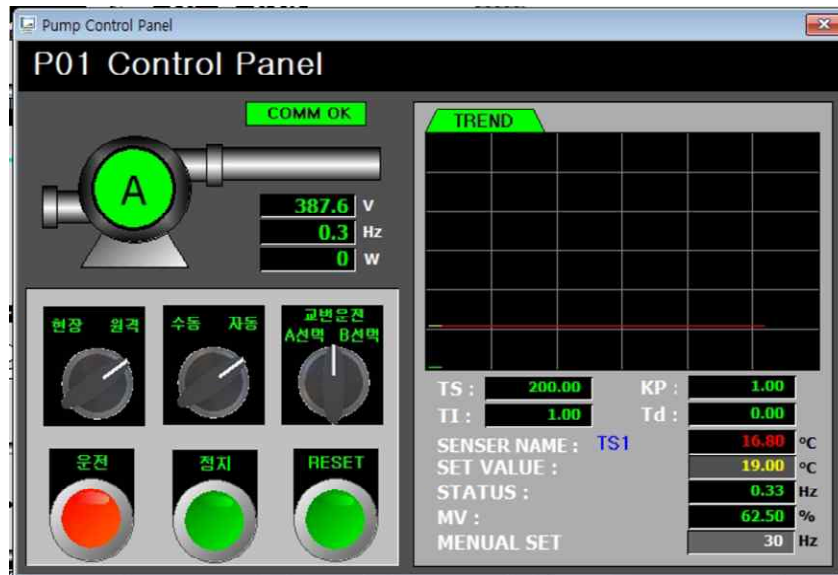
[Fsp]

- ① 열공급 개시 유량 (FF1-FF4 기준)

[Thsupr] 난방열공급 종료 온도

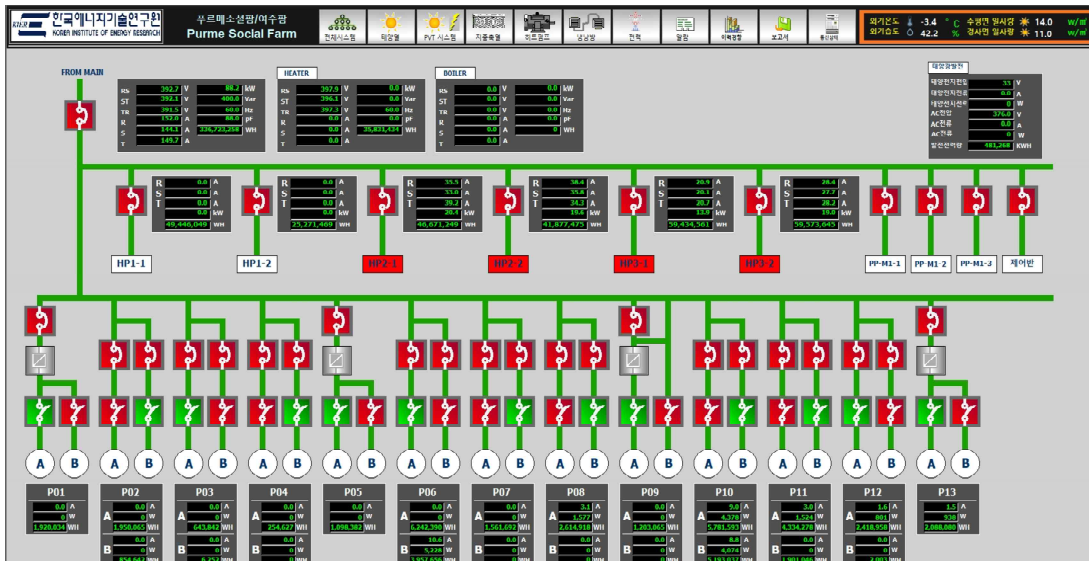
- ① TM8 온도가 Thsupr보다 높으면 P07 정지

아. 펌프 제어



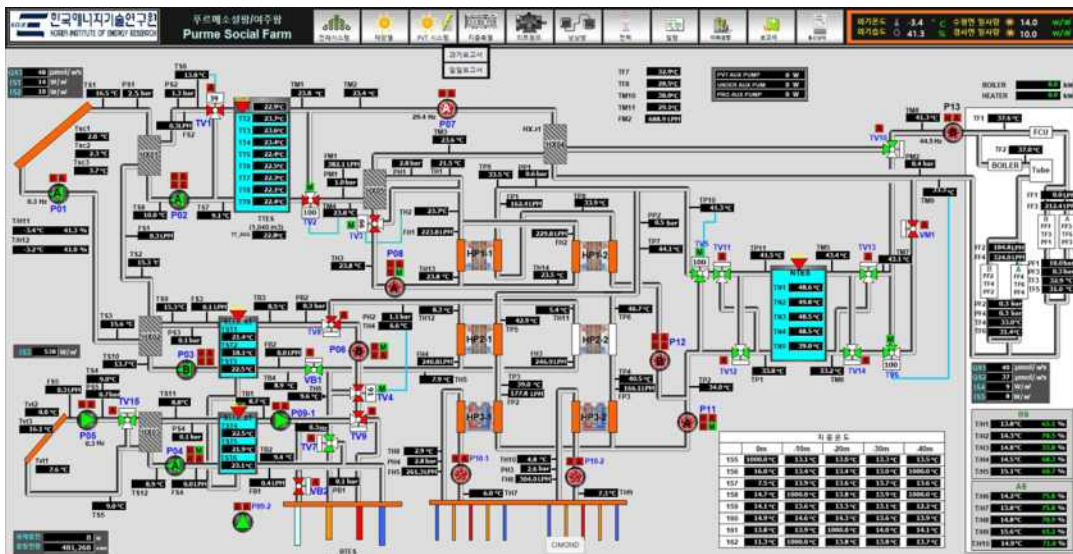
- 버튼설명
 - ① 현장, 원격 제어 선택 가능
 - ② 수동, 자동 제어 선택
 - 수동 선택시 아래 운전, 정지 버튼으로 동작
 - ③ 펌프 트립으로 노란색 깜빡일 때, RESET버튼으로 펌프 트립 리셋 가능
 - ④ 펌프가 2개 있는 경우
 - A,B를 선택해서 운전 가능
 - 교번운전 선택하여 펌프가 정지 후 다시 동작시 자동 교번운전 진행

자. '전력'

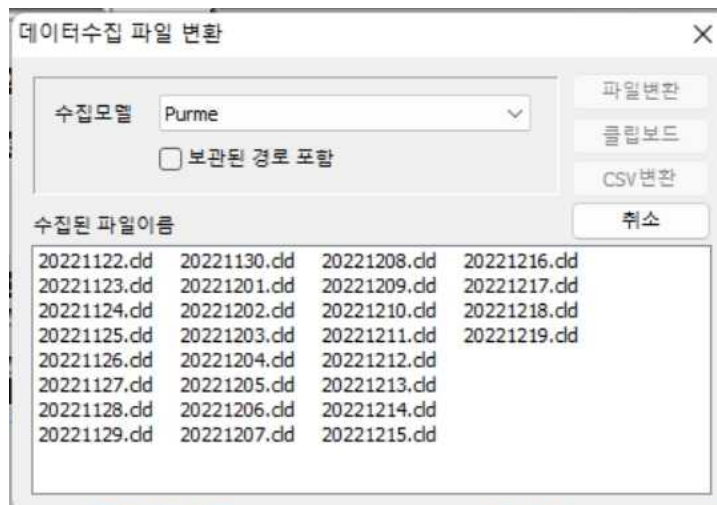


- 버튼설명
 - ① 전력소비량 모니터링 화면

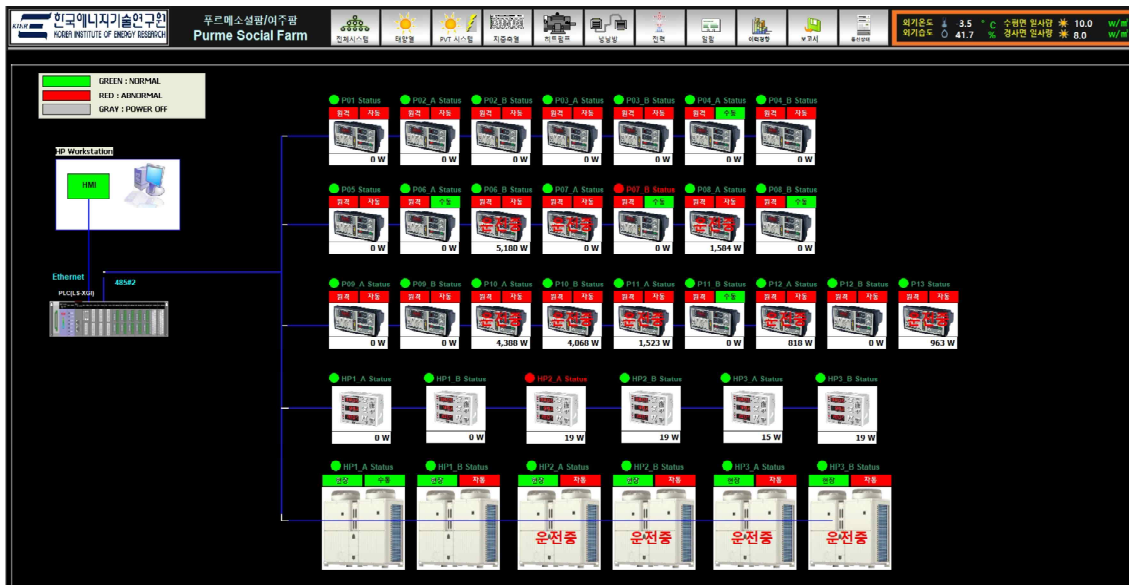
차. '보고서'



- 버튼설명
 - ① 일일보고서 선택 후 원하는 날짜의 데이터를 선택. CSV변환 버튼 클릭 후 폴더 저장



카. '통신상태'



- 설명
 - ① 장치별 통신상태 확인 메뉴

제3장 재생에너지 융복합설비 구성설비 유지관리 지침

1. 태양열 시스템

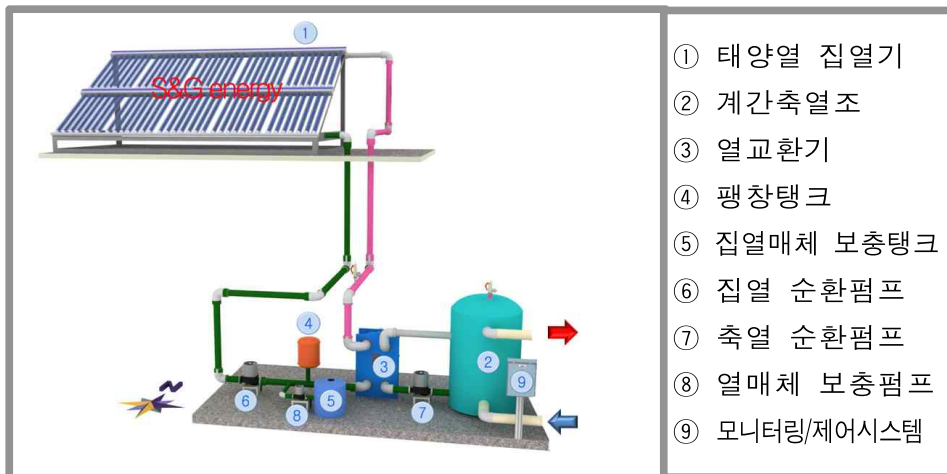
태양열 시스템의 안전성과 기능성을 유지하기 위한 유지관리 지침으로써, 관리와 유지보수를 체계적이고 효율적으로 하기 위해 일반적이고 기본적인 사항을 규정하였다. 기타 별도의 전문적 기술이 필요한 경우는 시공업체((주)에스앤지에너지 02-335-9545)에 A/S 요청 또는 질의를 통하여 조치한다. 시스템의 통합제어반은 출고 시 최적의 효율을 유지하기 위한 설정값으로 셋팅되어 있으므로 가능한 이 값을 유지할 수 있도록 한다.

가. 무상보증

- 무상보증 기간은 설치완료('21.4월) 후 5년이고, 주요 A/S 항목은 집열기, 탱크류(계간축열조 제외), 열교환기, 펌프류, 제어용센서류, 열매체 등이며, 원인이 명확한 제품 및 부품에 대해서는 무상수리 또는 교환을 요구할 수 있음
- 무상보증 기간 중에도 일부 A/S 처리비용이 발생할 수 있으므로, 시공업체와의 협의가 필요
- 무상보증 기간 중에도 천재지변/불가항력으로 인한 또는 사용자 임의의 수리 및 개조에 의한 고장이나 손실에 대해서는 유상처리됨을 유의

나. 태양열 시스템 동작원리 및 제어

- 일반적으로 정상작동 상태에서는 모니터링 및 제어 시스템에 의해 자동 제어되므로 운전자가 별도의 조치를 취할 필요는 없으나, 시스템 이상에 의한 비상작동이나 고장발생 시에는 즉시 시공업체 A/S 팀으로 연락해야 한다.



- 시스템 구성 및 기능

구성품	형식	기능
① 태양열 집열기	평판형 및 단일진공관형	태양에너지를 직접 흡수하여 이용 가능한 열에너지로 전환하는 장치
② 계간축열조	탱크형	태양열집열기에서 집열한 열을 온수(溫水)로써 저장하는 장치
③ 열교환기	판형 (Plate type)	태양열집열기를 순환하는 집열매체와 축열조 저장매체(축열매체)인 물과의 열교환을 하는 장치
④ 밀폐식 팽창탱크	입형(SS400)	집열시스템 내 온도상승시 열팽창 수용 및 시스템 보호
⑤ 집열매체 보충탱크	SMC	집열매체를 저장하였다가 배관 내 집열매체 손실시 집열매체 보충펌프를 가동하여 배관 내 집열매체 공급
⑥ 집열 순환펌프	인라인	태양열을 집열할 수 있도록 집열매체를 집열기와 열교환기 사이로 순환시키는 장치(펌프 동작은 별도의 제어를 통해 이루어짐)
⑦ 축열 순환펌프	인라인	집열매체의 열을 축열매체로 전달할 수 있도록 축열조와 열교환기 사이로 축열매체를 순환시키는 장치(펌프 동작은 별도의 제어를 통해 이루어짐)
⑧ 집열매체 보충펌프	가압식	집열매체 배관 내 압력 감소시 집열매체 보충탱크내 집열매체를 배관내에 공급하는 장치
⑨ 모니터링/ 제어 시스템		태양열을 이용하는데 필요한 모든 설비계통이 가장 효율적으로 작동될 수 있도록 자동으로 제어하는 장치

- 태양열 집열기는 지상에 그리고 나머지 장비류는 기계실에 위치하며, 순환펌프를 이용한 강제 순환방식으로 온수를 생산하는 시스템
- 평판형 집열기는 태양에너지를 받아 집열기 내 흡수판이 가열되면, 흡수판에 설치된 배관을 통해 집열매체가 순환하면서 열을 전달받는 구조임. 고장 요인이 적으나 집열효율은 상대적으로 다소 낮음
- 한편 진공관형 집열기는 진공관 내 히트파이프의 흡수판이 가열되면 상부의 응축기(콘덴서)로 열이 전달되고, 상부에 위치한 메니폴더를 순환하는 집열매체에 열이 전달되는 구조임. 집열효율은 우수하나 파손의 우려가 상대적으로 높음
- 축열조 하단부에서 유출된 저온의 물은 열교환기에서 집열매체로부터 열을 받아 고온의 물이 되어 축열조 상단부로 유입되며, 필요시 수요처에 온수를 공급함

다. 태양열 시스템 점검

- 태양열 시스템이 효과적으로 운전되기 위해서는 관리자가 수시로 시스템을 점검할 필요가 있는데, 태양열 시스템이 비효율적으로 운전되거나 고장 또는 파손이 발생하는 것은 대부분 일

상점검 소홀이 원인이기 때문임

- 태양열 시스템 정상 여부 확인 점검사항
 - 1) 시스템 내 각 밸브의 개폐상태를 확인한다.
 - 2) 집열매체의 양이 적정한지 점검한다.
 - 3) 집열매체의 농도가 적정한지 점검한다. 집열매체의 농도는 원액과 물의 비율이 1대3 정도면 정상이며, 열매체가 부족하여 보충시는 반드시 이 비율로 희석하여 보충해야한다.
- 제어장치 정상 여부 확인 점검사항
 - 1) 제어기(차온제어기)의 전원스위치를 ON 시킨다. 전원램프의 불이 켜진 것을 확인하며, 불이 켜지지 않을 경우 정전인가 램프가 불량인가를 확인 점검한다.
 - 2) 집열기 순환펌프를 점검한다. 집열 순환펌프를 수동으로 구동시켜 이상이 없으면 자동위치에 고정하여 제어기에 의해 집열 순환펌프가 작동되도록 한다.
 - 3) 제어조건에 의해서 각 순환펌프가 작동할 때 순환펌프 구동램프에 불이 켜지는 것을 확인한다.
 - 4) 시스템 작동 중에 전원램프가 항상 켜져 있는가를 확인한다.
- 각 설비별 점검항목 및 점검주기

설비명칭	점검항목	수시	월간	분기	반기	년간
태양열 집열기	집열기 진공관(유리관), 평판형 강화유리 등 상태 점검				●	
	집열기 및 연결배관 누수 확인			●		
	집열기 설치가대 부식점검					●
순환펌프	펌프 소음 및 발열상태 확인 (공회전시 작동 정지 및 점검)		●	●		
	펌프 연결배관 및 연결밸브 개폐상태 확인			●		
	결선 및 상태점검				●	
	펌프 및 펌프연결배관 누수점검				●	
모니터링	수동조작하여 펌프류 ON/OFF하여 정상작동 유무 확인					●
	제어반 표시등, 경보등, 조작 스위치류의 상태점검			●		
	온도센서 상태 및 결선점검 및 아날로그신호와 일치 여부 확인				●	
	웹모니터링 상태점검	●				
집열 보충탱크	집열 보충탱크 수위게이지 확인, 펌프 흡입구보다 수위가 낮을 경우 수위보충			●		
밀폐식 팽창탱크	배관 압력게이지를 체크하여, 압력이 높을 경우 팽창탱크 이상 유무 확인			●		
판형 열교환기	열교환기 및 연결 부속류 누수점검				●	
	1,2차측 온도계, 압력계 체크하여 정상 범주 여부 확인				●	
배관 연결부	태양열 집열부와 기계실까지 배관연결부 누수여부 확인				●	

라. 태양열 시스템 기본 고장원인 및 대응방법

- 모니터링 경보내용

현상	원인	해결방법
펌프 과부하 트립경보	해당모터의 전류가 열동형계전기의 설정치를 초과하여 약 10초이상 흐를 경우 모터보호를 위하여 해당 모터 전원을 차단함.	- 모터 각상에 정격전류 확인 1. 정격전류 초과시 모터점검 2. 정격전류 이내시 열동형계전기 및 MC판넬 점검 - 업체문의
센서불량	센서선 연결탈락	- 센서확인 및 교체 - 업체문의
모니터링 상 상태표시 안됨	네트워크 통신선 이상	- 네트워크 점검 - 업체문의

• 기본 고장내용

현상	원인	해결방법
펌프의 소음이 심함	펌프의 베어링 고장 집열매체 부족에 의한 공회전	- 펌프의 베어링을 교체한다. - 집열매체 보충 - 업체문의
집열측 열매체 감소	배관누수 온수사용량이 너무적어 과열에 의한 팽창	- 누수부위 점검 및 보완 - 온수사량량 확인 및 조절 - 업체문의
축열조의 온도가 예상외로 낮음	제어기의 각 설정온도가 적정하지 않음 집열매체가 부족함 온수배관누수 온수사용량 증가	- 제어기의 설정온도를 기준에 맞게 조정 - 집열매체를 적정수위로 보충 - 배관누수 점검 보완 - 온수사용증가 원인 확인 및 점검조치 - 시공업체 문의

2. PVT

시스템

PVT 시스템은 PVT패널과 태양광 설비인 접속함, 인버터 및 태양열 설비인 집열펌프(PP-05), 축열펌프(PP-04), 판형열교환기(HX-03), 축열조(STTS-pl), 3Way-Valve(TV-15), 및 각 위치의 온도/압력/유량 센서로 구성된다.

이에 대한 유지관리를 위한 점검은 기본적으로 일간 점검을 기준으로 하며, 일간 점검이 어려운 사항에 대해서는 분기 또는 연간 점검을 한다. 또한, 문제 발견 시 설치 및 제조업체의 통보 이후 지침에 따른다.

사용자는 일상적 정기적으로 유지관리에 대한 의무가 있으며, 관리소홀 및 방치에 의해 발생된 문제에 대해서는 정상적인 제품 보증절차가 진행되지 않음을 유의한다.

1) PVT패널

구분	점검항목		점검방법
PVT 패널	일간 점검	태양전지 표면의 오염 및 파손	상시 육안점검 및 발전량 감소시 확인
		부동액 누수 및 배관 손상	주차장 바닥 부동액(붉은색,녹색 유체) 누수 확인
		지시대외의 파손	부식 및 차량 충돌에 의한 파손 확인
정기 점검	외부배선의 손상	패널간의 접속케이블에 손상 확인	
	접지선의 접속 및 접속단자 이완	나사 풀림 확인	

2) 태양광 설비

구분	점 검 항 목		점 검 방 법
접속함	일간 점검	접속함 도어 잠김 확인	상시 육안점검 (우천시 주의)
		외함의 부식 및 파손	상시 육안점검
		외부배선 손상	상시 육안점검
	분기 점검	외부배선의 손상	패널간의 접속케이블에 손상 확인
		접속단자 이완 확인	단자 나사 풀림 확인
인버터	일간 점검	이음,이취,연기,과열 발생 여부	상시 육안점검
		통풍 확인(통풍구, 환기필터등)	상시 육안점검, 전기실 통풍 확인.
		표시부의 이상표시	상시 육안점검, 이상 알람 발생 확인.
		발전상황	상시 육안점검, 또는 제어모니터 발전량 확인
	정기 점검	외함의 부식 및 파손	육안 점검 (전기실 내부 설치로 정기점검)
		외부배선의 손상	인버터로 접속되는 케이블에 손상 확인

※ 기타 세부사항은 별첨. 태양광발전설비 유지보수 지침서를 따른다.

※ 별도 선임된 전기안전관리자의 지침에 따른다.

3) 태양열 설비

구분	점 검 항 목		점 검 방 법
집열펌프 (PP-05) 및 배관계통	일간 점검	인버터운전 점검	자동제어의 의한 펌프 가동시 인버터 Hz가 30Hz ~60Hz 사이를 유지하는지 확인한다.
		정상유량 점검	펌프 가동시 정상유량 범위인지 확인한다. 유량센서번호: FS5 (100~250 LPM)
		누수알람 점검	제어모니터의 “PVT AUX PUMP” 상태 확인 5분 이상 유지시 설치업체에 통보
		배관누수 점검	배관설비의 누수 육안검사
	연간 점검	동절기 전 열매체 농도 확인	집열펌프(PP-05)를 일시적으로 수동 정지 시킨 후, 열교환기(HX-03) 1차측 드레인밸브의 열매체를 소량 드레인시켜 농도계를 사용하여 열매체의 부동액(프로필렌글리콜 40%)의 농도를 확인한다. 농도 30% 이하로 떨어질 시 부동액 보충 필요.
축열펌프 (PP-04) 및 배관계통	일간 점검	정상유량 점검	펌프 가동시 정상유량 범위인지 확인한다. 유량센서번호:FS4 (110 LPM ± 20%이내)
		STTS-p1 수위알람 점검	제어모니터 수위알람 HIGH 유지 상태, LOW 발생시 축열조 상부에서 육안 검사.
		배관누수 점검	배관설비의 누수 육안검사
온도센서 압력센서 유량계	일간 점검	정상 온도/압력/유량 표시 점검	이상 온도/압력/유량 육안검사
열교환기 (HX-03)	분기 점검	열교환기 성능 점검	열전달 온도 감소 여부 확인. 초기 열전달 성능의 50% 이하로 열교환량이 감소시 열교환기 세척 필요.

축열조 (SPPS-p1)	일간 점검 / 분기 점검	축열조 수위 점검	축열조내 열매체(물)의 수위가 디퓨저 상단에 근접할시 열매체(물) 추가 보충. - 디퓨저: 축열조 내부의 원형디스크 또는 파이 프 형태의 설비.
3Way Valve (TV-15)	연간 점검	동절기 전 작동유무 점검	동절기 전 일시적으로 펌프(PP-5, PP-04)를 수동 정지한 상태에서 밸브를 수동으로 open/close 조작함으로써 고착화 및 고장 여부를 확인.

※ 기타 세부사항은 별첨. 펌프, 밸브, 브레이징관형열교환기 유지보수 지침서를 따른다.

3. 히트펌프 시스템

히트펌프 시스템의 안전성과 성능을 유지하기 위한 유지관리 기본 지침이다. 일반적이고 기본적인 사항에 대해서 작성하였으며, 기타 별도의 전문적 기술이 필요한 경우는 시공업체(MTS, LG 전자)에 A/S 요청 또는 질의를 통하여 조치한다. 각 히트펌프의 제어반은 출고 시 최적의 효율을 유지하기 위한 설정값으로 셋팅되어 있으므로, 가능한 이 값을 유지할 수 있도록 한다.

가. 시스템 운전

- 시운전 시 점검사항(여름철 및 겨울철 냉난방 첫 운전 포함)
 - 1) 전원 스위치 ON : 전원스위치를 ON상태로 하고 운전모드를 냉방 또는 난방 위치로 하여 운전을 확인
 - 2) 압력변화 확인 : 유닛에 부착되어 있는 고압, 저압게이지의 압력변화 이상유무를 확인
 - 3) 전압과 전류 체크 : 운전 중 전압과 전류를 측정하여 이상유무를 확인
 - 4) 운전 OFF : 부하측 온도가 설정온도에 도달할 시 자동으로 정지되는지를 확인
 - 5) 오일 점검 : 시운전 중 압축기의 유면계를 통하여 오일의 양과 탁도를 확인. 오일이 부족해지면 보충하고, 이물질이 많이 포함되어 탁해지면 새로운 오일로 교환
 - 6) 압축기 및 냉매배관 점검 : 압축기의 크랭크케이스히터가 통전되어 있는지 확인. 크랭크케이스히터는 냉매충전을 하고 장시간 방치 후 운전할 때에는 반드시 운전 전에 1~2시간 통전하여 예열해야 함(예열을 하지 않으면 오일포밍현상 (Oil forming)으로 고장의 원인)
 - 7) 냉매누설여부 확인 : 냉매배관과 각 기기의 누설여부를 확인(냉매가 누설될 경우 고장의 원인)
 - 8) 압력 스위치 설정 : 고압스위치는 이상고압을 차단하는 안전장치이며 43 kgf/cm²(g)로 설정되어 있음. 저압스위치는 냉매부족 시나 냉매누설 시 압력이 저하되면 차단하는 안전장치이며 4.0 kgf/cm²(g)로 설정되어 있음(임의대로 설정 값을 조정하는 경우 장치 손상의 위험이 있음).
- 정상운전: 시운전이 정상적으로 끝나면 모든 외부 커버를 부착하시고 정상운전을 수행
 - 1) 정상운전시의 압축기 입,출구 압력 (입,출구 냉매 온도에 따라 변함)
 - 흡입 압력 ; 5.0 ~ 12.5 kgf/cm²(g)
 - 토출 압력 ; 16.0 ~ 38.0 kgf/cm²(g)
 - 2) 토출 압력이 43 kgf/cm²(g) 을 초과하면 고압스위치가 작동하여 장비가 정지3) 물 흐름 유량은 정격유량 이상을 유지하고 흐름량이 감소하면 입,출구 온도차가 증가함. 정상 온도차는 3℃ ~ 6℃ 이며, 흐름량이 감소하여 흐름스위치나 출구온도센서가 동작하면 물의 흐름량 감소 원인을 파악하여 제거 한 후 재기동

- 운전 시 주의사항
 - 정상 운전시나 정지 후 재기동 할 때 각 압축기는 설정된 지연 시간 후에 순차적으로 기동하므로, 다른 방법에 의해 강제로 기동 하지 않아야 함
 - 사용자가 필요에 의해 잠시 동안 장비를 정지 시에는 콘트롤러 상의 “정지/기동” 버튼을 이용하고, 장비가 정지하면 자동으로 예열히터가 동작하여 압축기 윤활유를 예열함
 - 부득이 전원을 차단해야 할 때는 배관내의 물을 완전히 배출
 - 1개월 운전 후에 장비를 정지하고 모든 전원 단자대를 다시 조이는 것이 좋으며, 단자대의 조임이 헐거워지면 결상 등의 예기치 못한 문제가 발생함
 - 장비가 운전 중에는 물의 입출구 온도, 압축기 입출구 압력, 물 펌프 등의 운전상태를 매일 점검

나. 냉매 충전방법

- 냉매 확인
 - 냉매 충전 시 사용하는 냉매의 종류를 반드시 확인한 후 충전
 - 승인된 냉매 이외의 냉매를 사용하면 고장의 원인이 되므로, 다른 냉매를 사용하고자 할 시에는 시공업체로 문의
- 밸브개방
 - 모든 밸브를 개방(압축기의 고·저압밸브, 입·출구밸브 등)
- 매니폴드게이지 연결
 - 압축기 저압밸브의 서비스포트에 매니폴드게이지의 저압측 호스를 연결하고, 압축기 고압밸브의 서비스포트에 매니폴드게이지의 고압측 호스를 연결
 - 이때, 매니폴드게이지 호스가 연결된 밸브는 완전 개방하지 말아야 하며, 완전 개방 시 서비스포트가 닫힘
- 진공작업 및 누설검사
 - 매니폴드게이지의 중간호스를 진공펌프에 연결 후 매니폴드게이지의 고,저압 밸브를 중간 위치에 놓고 모든 밸브를 닫은 후 진공을 시작
 - 진공시간은 장치의 용량에 따라 다르며 저압게이지의 진공도가 700mmHg까지 진공을 시킨 후 매니폴드게이지의 고·저압밸브를 닫음
 - 약 30분 후 누설에 의한 진공도의 변화가 있는지 확인하고 변화가 없을 경우 진공을 종료
- 냉매통 연결 및 충전
 - 진공펌프에 연결된 매니폴드게이지와의 중간호스를 풀어 냉매통에 연결하고 호스의 반대쪽 연결구를 약간 풀어준 다음, 냉매통을 뒤집은 상태에서 냉매통 밸브를 열어 호스내의 공기가 빠져나오도록 냉매가스를 약간 분출시킨 후 열어준 중간 호스 연결구를 닫음
 - 매니폴드게이지의 중간 호스에 공기를 다 뺀 다음 사이클의 저압부를 통하여 냉매액을 충전
 - 냉매는 액체상태로 주입이 될 수 있도록 냉매통을 뒤집은 상태에서 충전
 - 냉매를 많이 충전하거나 적게 충전하는 것은 좋지 않으며, 액면계를 보고 거품이 많이 생기지 않을 정도로 조절하는 것이 필요
- 냉매 보충
 - 냉매충진을 마친 후 매니폴드게이지의 밸브를 닫고 히트펌프유닛을 시운전 시 냉매가 부족한 경우, 매니폴드게이지의 저압밸브를 열어 액체 상태로 냉매를 보충
 - 냉매충진이 완료되면 매니폴드게이지의 고·저압밸브를 닫은 후 호스를 제거

다. 정기점검

- 히트펌프 유닛의 운전기록을 마련하여 유지관리, 부품의 교환과 수리, 사고 및 고장의 발생상황과 처리 내용 등을 기록하는 것을 권장하며, 이를 근거로 적절한 점검 및 유지 관리 계획을 수립

No	점검항목	점검주기
1	압축기 유면창 점검	주간
2	압축기 본체에서의 오일누설여부 점검	주간
3	장비 전체의 이상유무 점검	주간
4	저압이 이상이 있으면 증발기, 흡입배관, 팽창변 등을 점검	월간
5	냉매계통의 누설유무 점검(게이지 확인)	월간
6	고압압력스위치 등 안전장치 점검	월간
7	전기설비의 절연상태 점검	년간
8	드라이어필터 점검 및 냉매계통의 필터 점검	년간
9	각종 기기의 절연저항, 작동상태 점검	년간
10	시설전반에 대한 점검 및 수리	년간

라. 장시간 정지 후 재가동 시 점검항목

No	점검항목	조치방법
1	장비 가동시 이상소음은 없는가?	각 체결부의 조임상태 확인
2	고압, 저압게이지 확인(냉매 누설여부 확인)	누설판정시 수리조치
3	콘트롤판넬 내부 결선의 조임상태	이완부 조임

마. 고장원인 및 대책

현 상	원 인	조 치 방 안
압축기가 기동을 하지 못함	전원 인가의 문제	정확한 전원을 인가
	전선의 결선상태 불량	검사하고 다시 연결
	플로우 스위치물이 흐르지 않음	수배관 계통 검사
압축기가 작동하다가 정지함	냉각 계통이 막힘으로 인한 압축기 흡입압력 저하	냉각 계통 검사
	유량이부족	정격유량 이상이 되도록 유량을 증가
압축기의 운전소음이 큼	압축기의 고정나사가 풀림	이완부 조임
	압축기 흡입부의 냉매액 유입	팽창밸브 검사
	냉매부족	냉매를 보충
냉각능력 저하	압축기 내부의 부속품 파손	시공업체로 연락
	냉매 부족	누설여부 검사 및 수리
	수배관 계통 보온 불량	수배관 계통 보온
	4way v/v 가 누설	시공업체로 연락
	유량이 부족	정격유량 이상이 되도록 유량을 증가
압축기의 냉매 흡입관에 성애가 낀	수배관 계통이 막힘	수리 및 이물질 제거
	수배관 계통 내에 공기 유입	수배관 계통 내에 공기를 배출
	유량 부족	유량을 증가
운전압력이 너무 높음	냉매 과다 충전	적정량의 냉매를 재충진
	냉각 계통 내에 응축되지 않는 기체 잔존	냉매 재충진
운전압력이 너무 낮음	냉매 부족	냉매를 보충
	압축기에 문제가 생겨 효율이 저하	시공업체로 연락
냉방모드는 정상이나, 난방모드는 작동하지 않음	4way v/v 전자변이 고장	시공업체로 연락

4. 전력 시설물

본 내용은 배전반의 운전 정비요원이 배전반 기능의 경년적 변화 및 기능저해 요인을 인지하여, 기기의 정상적인 운전을 도모하고 사고 및 고장을 미연에 방지하기 위한 설명이다. 내부기기를 포함한 배전반의 전반적인 일상순시점검 및 정기점검에 대한 것이며, 보수점검 작업은 배전반의 빛깔, 소리, 냄새, 열 또는 빗물이 들어갔는지 등을 파악하여 이상여부를 판단하는 것이다. 내부 각

각의 기기에 대해서는 별도로 각 기기의 취급설명서를 참조해야 한다.

따라서 보수점검을 위해서는 본 내용을 완전히 이해하고 취급해야 하며, 이상 및 고장 발생 시에는 가능한 빨리 다음 요령으로 상세한 사고내용을 시공업체((주)신호이엔씨)에 연락해야 한다.

가) 고장난 기기의 명판 내용(형식) 및 납품일자

나) 이상상태 발생시간, 현상, 피해도, 추정원인 대책현황 및 긴급도 등

가. 점검의 분류와 점검주기

- 점검을 하기 위해서는 제약조건이 필요하며 제약조건과 점검에 대한 사항은 아래와 같다.

제약조건 점검분류	문 의 개 폐	카바류 의분류	무정전	회 로 정 전	모 선 정 전	차단기 인 출	점 검 주 기
일상순시점검	○	-	○	-	-	-	매 일
정 기 점 검	○	○	-	○	○	○	3 년
임 시 점 검	○	○	-	○	○	○	필요시

- 점검주기는 대상기기의 환경조건, 운전조건, 설비의 중요성, 경과년수 등에 의하여 영향을 받기 때문에, 상기에 표시된 점검주기와 대상기기의 점검주기를 고려하여 선정
- 무정전 상태에서는 문을 열고 점검할 수 없으나, 1개월에 1회 정도 문을 열고 점검하는 것을 권장
- 모선정전의 기회는 별로 없으나 심각한 사고를 방지하기 위하여 1년에 1번 정도 점검을 하는 것을 권장
- 일상 순시점검은 배전반의 기능을 유지하기 위한 일상점검을 말하며 다음과 같은 요령으로 실시
 - 매일의 일상순시 점검은 문을 열거나 커버를 해체한 후 점검하는 것이 아니라, 이상한 소리, 냄새, 손상 등을 배전반 외부에서 점검항목의 대상 항목에 따라서 점검하는 것
 - 이상 상태를 발견한 경우에는 배전반의 문을 열고 이상의 정도를 확인하고, 이상의 상태가 직접 운전을 하지 못할 정도로 전개될 경우를 제외하고는 이상상태의 내용을 기록하여 정기 점검 시에 참고자료로 활용
- 정기점검은 배전반의 기능을 확인하고 유지하기 위한 계획을 수립하여 점검하는 것을 말하며,
 - 매일 원칙적으로 정전을 시켜놓고 무전압 상태에서 기기의 이상 상태를 점검하고 필요에 따라서 기기를 분류하여 점검
 - 모선을 정전하지 않고 점검을 하여야 할 경우에는 안전사고가 일어나지 않도록 유의
- 임시점검은 일상 순시점검 및 정기점검에 의하여 상세하게 점검할 필요가 발생하는 경우에 점검

나. 보수 점검작업

- 작업자의 안전을 위하여 기기의 구조 및 운전에 관한 내용을 알아야 하며, 안전작업에 대한 대표적인 사항은 다음과 같음
- 점검전 유의사항
 - 준비철저: 응급처치 방법 및 작업 중의 정리, 설비 및 기계의 안전을 확인

- 회로도에 의한 검토: 전원계통이 회복되는 경우를 대비하여 반내 각종 전원 스위치 차단상태 확인 및 접지선의 확인
- 연 락: 시공업체에 긴밀하고 확실하게 연락
- 무전압 상태확인 및 안전조치: 주회로를 점검할 때 안전을 위하여 다음 사항을 점검
 - 관련된 차단기, 단로기를 열고 무전압이 되게 한다.
 - 검전기로서 무전압 상태를 확인하고 필요개소에 접지 한다.
 - 차단기는 단로상태가 되도록 인출하고 “점검중” 이라는 표시판 부착
 - 단로기 조작은 쇄정시킨다.(쇄정 장치가 없는 경우에는 “점검중” 이라는 표시판을 부착)
 - 특히 수전반 또는 모선 연락반등과 같이 전원이 회복되는 경우에는 상대방의 개폐기에 대해서도 상기 항의 조치를 취하게 한다.
- 잔류 전압에 대한 주의: 콘덴서 및 케이블(CABLE) 의 접속부를 점검할 경우에 잔류 전하를 방전시키고 접지
- 오조작 방지: 전원의 쇄정 및 주의표시 부착
- 절연용 보호기구 준비
- 쥐, 곤충등의 침입 대책: 쥐, 곤충 및 뱀 등이 침입하지 않도록 적당한 대책
- 점검 후 유의사항
 - 접지선의 제거: 점검 시 안전을 위하여 접지한 것을 점검 후에는 반드시 제거
 - 최종확인: 최종 작업은 다음 사항을 확인
 - 작업자가 반내에 들어가 있는가?
 - 점검을 위해 임시로 설치한 가설물 등의 철거가 지연되지 않는가?
 - 볼트 조임 조작을 잊어버리지 않았는가?
 - 공구 등이 버려져 있지 않았는가?
 - 쥐, 곤충 등이 침입하지 않았는가?
 - 점검의 기록: 일상순시점검, 정기점검 또는 임시점검을 할 때에는 반드시 점검 및 수리한 요점 및 고장의 상황, 일자 등을 기록하여 차기점검 시 참고 자료로 활용

다. 공통사항

- 녹이 발생하거나 도장이 벗겨짐: 금속부분에 녹이 발생하거나 도장이 벗겨진 부분 등은 보수 점검 항목이며, 설치장소, 환경, 사용상태, 설치 후 경과 년수 등에 따라서 그 정도가 다르기 때문에 점검내용을 특정할 수 없지만, 정기점검 시 다음 사항에 유의하여 점검
 - 금속 부분에 녹이 발생하는 경우
 - 기구부 등에 녹이 발생하여 회전이 원활하게 되지 않는다고 생각되는 개소
 - 녹으로 인해 접촉저항이 변화하여 통전부에 지장이 생기는 부위
 - 스프링에 녹이 발생하던가 접합 용접부의 침식 등으로 기계적 강도가 떨어질 염려가 있는 부위
 - 녹으로 인해 미관을 해치는 부위
 - 도장이 벗겨짐
 - 옥외 등과 같이 주위의 환경조건이 나쁜 경우에 도장이 벗겨진다던가 손상이 일어나는 부분에는 특히 조기에 보수를 실시하고 페인트를 칠해 주십시오.
- 기 타
 - 비상정지 회로는 정기점검 시 반드시 동작확인
 - 비나 바람이 강한 날은 특히 유의
 - 배전반 부근에서 건축공사를 시행하는 경우에는 먼지 또는 진동에 의해 기기가 손상되지 않

라. 일상 순시점검 사항

- 일상 순시점검은 다음 요령에 의해 실시하고, 다음 사항 중 절연물의 청소 볼트 조임의 보강 등 중요한 사항은 처리항목에 설명되어 있으므로 참조
- 배전반

대 상	점검개소	목 적	점 검 내 용
외함	외부일반 (문, 외함)	볼트조임 이완	뒷카바등의 볼-트의 조임이 완료되었는가 바닥에 떨어진 것은 없는가?
		손상	문의 개폐상태는 이상이 없는가?
			점검창 등의 패킹 등이 열화(劣化)하여 손상은 없는가?
		이상한 소리	볼트류 등의 조임이 완료되어 진동하는 소리는 없는가?
	오손	점검창 등이 오손되어 내부가 잘 보이지 않는가?	
	명 판	손상	조임이 완료되어 떨어진다면 파손 및 선명하지 못한 부분은 없는가?
	인출기구 (고정장치)	위치	적당한 위치에 놓여 있는가?
모선 및 지지물	모선전반	이상한 소리	볼트류의 조임이 완료되어 진동은 없는가? 코로나(CORNER) 방전에 의한 이상한 소리는 없는가?
		이상한 냄새	코로나 방전 또는 과열에 의한 이상한 냄새는 나지 않는가?
주회로 인입 인출부	폐쇄모선 접촉부	이상한 소리	볼-트류의 조임이 완료되어 진동음은 없는가?
	붓싱 (BUSHING)	손상	균열, 파손은 없는가?
		이상한 소리	코로나 방전 등에 의한 이상한 소리는 없는가?
	케이블 (CABLE) 단말부 및 접속부 케이블 관통부 명판	이상한 소리	볼-트류등의 조임이 완료되어 진동음은 없는가?
		이상한 냄새	코로나 방전 또는 과열에 의한 이상한 냄새는 나지 않는가?
		손상	케이블 막이판이 탈락 간격이 벌어짐은 없는가?
		취, 곤충 등의 침입	침입의 흔적은 없는가?
제어회로 배선	배선전반	손상	가동부 등에 연결되는 전선의 절연피복 손상은 없는가? 전선 지지물이 떨어져 있는가?
		이상한 냄새	과열에 의한 이상한 냄새는 없는가?
단자대	외부일반	조임의 이완	조임의 이완은 없는가?
		손상	절연물등의 균열 파손은 없는가?
접 지	접지단자 접지선	손상	접지선의 부식 또는 단선은 없는가?
		표시	표시 부착물이 떨어져 있지는 않는가?

- 내장기기 및 부속기기

대 상	점검개소	목 적	점 검 내 용
주회로용 차단기 VCB	외부일반	이상한 소리	코로나 방전등에 의한 이상한 소리는 없는가?
		이상한 냄새	코로나 방전, 또는 과열에 의한 이상한 냄새는 없는가?
		누설	GCB의 경우 가스 누설은 없는가?
	개폐표시기 개폐표시등	지시표시	표시는 정확한가?
	개폐도수계	표시	기계적인 수명회수에 도달하지 않았는가?
배선 차단기	외부일반	이상한 냄새	과열에 의한 이상한 냄새는 없는가?
누전 차단기	조작장치	표시	동작 상태를 표시하는 부분이 잘 보이는가?
			개폐기구 핸들과 표시등의 상태는 바른가?
단로기 교류부하 개폐기	외부일반	이상한 소리	코로나 방전에 의한 이상한 소리는 없는가?
		이상한 냄새	코로나 방전 또는 과열에 의하여 이상한 냄새는 나지 않는가?
		누설	절연유를 내장한 부하개폐기의 경우 기름의 누설은 없는가?
	개폐표시기 개폐표시등	지시표시	표시상태는 정확한가?

마. 전기히터 운전방법

- 전기히터 버튼설명



①은 전기히터의 온도를 설정하는 버튼임. ②은 전기히터의 메인전원버튼임. ③은 히터 내부배관을 흐르는 유체를 순환시키기 위한 펌프의 조작 버튼임. 현재시스템에서는 외부에 순환펌프가 자동제어 되므로 정지해도 무방함, ④은 알람버튼이며, 저수위 및 전기히터에 이상 현상이 발생하였을 경우 경보음이 울림.

- 전기히터 조작방법

②의 메인 전원을 on(③의 순환펌프는 off, ④의 알람버튼은 on) → ①의 전원버튼 클릭 → ①의 울림 및 내림버튼으로 설정온도를 제어

현재 그림에 표기된 온도상태는 설정온도가 40도이며 히터상부온도는 37를 의미함

- 전기히터 상세조작방법

정상모드의 경우 전기히터는 보조열원으로 사용되어 상세조작이 필요없음. 하지만 유사시 백업용으로 사용할 경우 상세조작이 필요함.



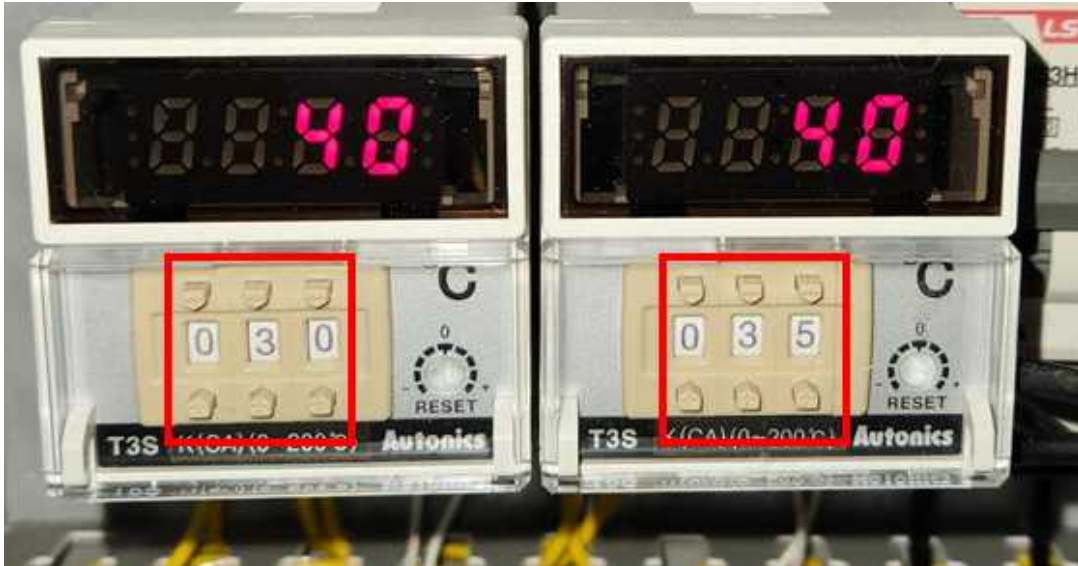
전기히터의 용량은 500 kW이며, 차단기 15개로 전력을 제어하고 있음. 보조열원으로 사용할 경우 아래부터 차례대로 5개(약 160kW)의 차단기를 on하여 운전하고, 백업용으로 사용할 경우 15개의 차단기를 전부 on 시켜 운전할 수 있음.

백업용으로 사용하여 모든 차단기를 사용할 경우 아래부터 순차적으로 접점이 붙어 히터가 운전됨.

접점을 제어하는 방법은 아래와 같음.



위 그림 중 ①, ②, ③에서는 접점을 제어하기 위한 기준온도를 설정할 수 있음. 전기히터의 전력차단은 총 15개의 전력차단기로 제어되고 있으며, ①은 상부 3개의 전력차단기의 접점을 제어하고, ②은 ① 아래 3개의 접점을 제어하며, ③은 하단부 9개의 접점을 제어함. 예를 들어 현재 설정온도가 40도일 경우 ①에서는 설정온도를 30도, ②에서는 설정온도로 35도로 입력하여 제어를 하게 되면, 물의온도가 30도가 도달할 경우 상부3개의 접점이 차단되고, 35도에 도달할 경우 그아래 3개의 접점이 차단되어 나머지는 아래 9개의 접점으로 온도가 제어됨.



접점이 차단되는 설정온도는 지시숫자 위/아래 있는 버튼으로 조절할 수 있음.
 백업용으로 히터를 사용할 경우 내부 차단기 15개를 모두 on시키고, ③의 설정온도를 45도, ①의 설정온도를 35도, ②의 설정온도를 40도로 입력하여 운전할수 있음.

주 의

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