

120097-3

융복합 (대수층 계간축열, 바이오설비, 수열히트펌프)  
에너지 생산·저장·관리 및 실증모델 구축

2022

농림축산식품부  
농림식품기술기획평가원

보안 과제( ), 일반 과제( O ) / 공개( O ), 비공개( )발간등록번호( O )  
농업에너지자립형산업모델기술개발사업 2022년도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-004388-01

# 융복합(대수층 계간축열, 바이오설비, 수열히트펌프) 에너지 생산·저장·관리 및 실증모델 구축

2023.06.15.

주관연구기관 / 한국에너지기술연구원  
협동연구기관 / 한국지질자원연구원  
/ (주)지엔에스엔지니어링  
/ (주)센도리  
/ 숙명여자대학교 산학협력단  
/ 전라북도농업기술원

농림축산식품부  
(전문기관)농림식품기술기획평가원

제출문

## 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “융복합(대수층 계간축열, 바이오설비, 수열히트펌프) 에너지 생산·저장·관리 및 실증모델 구축”(개발기간 : 2020. 04. ~ 2022. 12.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2023. 06. 15.

주관연구기관명 : 한국에너지기술연구원

김 중 남

협동연구기관명 : 한국지질자원연구원

이 평 구

협동연구기관명 : (주)지엔에스엔지니어링

박 성 권

협동연구기관명 : (주)센도리

박 문 수

협동연구기관명 : 숙명여자대학교 산학협력단

오 중

협동연구기관명 : 전라북도농업기술원

박 동

주관연구책임자 : 오 정 석

협동연구책임자 : 심 병 완

협동연구책임자 : 황 기 섭

협동연구책임자 : 김 정 수

협동연구책임자 : 임 용 훈

협동연구책임자 : 범 혜 랑

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.



## < 요약 문 >

사업명		농업에너지 자립형 산업모델 기술개발사업			총괄연구개발 식별번호		
내역사업명					연구개발과제번호		120097-3
기술 분류	국가과학기술 표준분류	EA0707 (에너지/환경 제어설비)	40%	LB0203 (원예특용작물 시설/재배)	30%	LB0802 (농업 동력/에너지)	30%
	농림식품 과학기술분류	CA0201 (농산에너지 생산·활용)	60%	RC0102 (농업 시설·환경 기계 시스템)	20%	AA0203 (원예작물 재배·생산)	20%
총괄연구개발명							
연구개발과제명		융복합 (대수층 계간축열, 바이오설비, 수열히트펌프) 에너지 생산·관리 및 실증모델 구축					
전체 연구개발기간		2020. 04. 29 - 2022. 12. 31 (2년 9개월)					
총 연구개발비		총 7,045,400천 원 (정부지원연구개발비: 5,500,000천 원, 기관부담연구개발비: 1,545,400천 원)					
연구개발단계		기초[ ] 응용[ ] 개발[√] 기타[ ]			기술성숙도		착수시점 기준( 6 ) 종료시점 목표( 8 )
연구개발과제 유형							
연구개발과제 특성							
연구개발 목표 및 내용	최종 목표		0.3 ha(3000 m <sup>3</sup> , 약 1000평) 규모의 연동형 원예시설을 대상으로 기 검증된 총적대수층 계간축열 기술기반 바이오설비(목재 펠릿 보일러) 및 수열에너지 히트펌프 기술을 적용함으로써 (면세등유 보일러 이용 대비) 온실에너지 운영비용을 50% 이상 절감할 수 있는 융복합 영농 에너지 자립화 플랫폼을 구축하고 실증함				
	전체 내용		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 연구내용: 총적대수층 계간축열, 수열 및 바이오설비 융복합 온실 냉난방 에너지효율향상기술 개발 및 실증</li> <li>○ 핵심기술 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 에너지 탐사(한국지질자원연구원): 대수층 지질자원 탐사 및 기술적용 적합성 평가</li> <li>- 에너지 생산((주)지엔에스엔지니어링): 0.3 ha급 무축열조 대수층 계간축열 기술</li> <li>- 에너지 변환((주)센도리): 대수층 및 하천수 이용 융복합 신재생에너지 히트펌프 시스템 설비 구축(100 RT급)</li> <li>- 에너지 관리(한국에너지기술연구원): 바이오설비 및 수열 융복합 보조 열에너지 생산 및 0.3 ha급 온실에너지 관리 기술</li> <li>- 열환경 계측(숙명여자대학교): 온실 내 열환경 균일화 제어를 위한 열환경 정밀 모니터링 기술 적용·실증</li> <li>- 생육 최적화(전북농업기술원): 계간 축냉열을 활용한 작물 생육 최적화를 위한 재배환경 조건 설정 및 생산성 검정</li> </ul> </li> </ul>				
	1 단계	목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 1차년: 실증처 선정(전북 완주 청운농원) 및 플랫폼 설계</li> <li>○ 2차년: 에너지-영농 융복합(ATES, 바이오) 플랫폼 구축</li> </ul>				
내용		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 1차년 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 에너지 탐사: 실증시설 지질조사 및 타당성 평가</li> <li>- 에너지 생산: 실증처 수리지열학적 특성 조사, ATES 시스템 설계</li> <li>- 에너지 변환: 시설원에 사이트 현황조사 및 신재생에너지 설계</li> <li>- 에너지 관리: 기술적용 개념정립 및 플랫폼 공학적 분석</li> <li>- 열환경 계측: 저가형 온실 복합 열환경 정밀 모니터링 기술 구축</li> <li>- 생육 최적화: 최적 조건 설정을 위한 시기별 기상환경, 생육 비교</li> </ul> </li> <li>○ 2차년 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 에너지 탐사: 실증지(전북 완주 청운농원) 대수층 평가</li> <li>- 에너지 생산: 계간축열(ATES) 지열공 및 시설원에 열설비 설치</li> <li>- 에너지 변환: 융복합 재생에너지 열설비 시스템 설치 및 테스트</li> <li>- 에너지 관리: 보조 냉온열공급 및 에너지관리 설비 구축</li> <li>- 열환경 계측: 열환경 측정기술 현장 실증 기반 최적화 연구</li> <li>- 생육 최적화: 작물 생육 최적 환경 조건 탐색 및 설정</li> </ul> </li> </ul>					

연구개발 목표 및 내용	2단계	목표	○ 3차년: 에너지-영농 융복합(ATES, 바이오, 수열) 플랫폼 실증
		내용	○ 3차년 - 에너지 탐사: 대수층 수리지질 특성 모니터링 - 에너지 생산: 최적 운전조건 개발 및 유지보수기술 현장적용 - 에너지 변환: 융복합 적용 기술 실증 성능평가 및 최적화 - 에너지 관리: 실증 플랫폼 운전 데이터 분석 - 열환경 계측: 열환경 측정기술 고도화 기반 제어솔루션 연구 - 생육 최적화: 시스템 적용 실증 온실의 생산성 검정

연구개발성과	시설원에 0.3 ha 급 대수층 계간축열 기반 바이오설비 및 수열에너지 융복합 영농에너지 자립화 실증 플랫폼 구축
--------	---

연구개발성과 활용계획 및 기대 효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 기술적 측면 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 대수층 계간축열과 바이오설비 및 수열에너지원의 조합으로 새로운 영농-에너지 융합 시스템 모델 보급</li> </ul> </li> <li>○ 경제적 측면 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 농업용 면세 등유를 사용하는 보일러 이용 대비 총적 대수층 계간축열 설비 구축 시 농가 에너지 운영비용 절감 가능</li> </ul> </li> <li>○ 산업적 측면 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 신재생에너지원 활용을 통해 농사용 전력 의존도를 줄임으로 하계 및 동계 전력부하 조절 및 전기에너지 수요관리 가능</li> </ul> </li> <li>○ 사회적 측면 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 농사용 전력 및 면세 등유 의존을 통한 농업 에너지 이용에서 탈피하여 작물 부산물의 재활용(펠릿화 또는 반탄화 연료화 등)도 가능한 친환경 자원순환영농 구현 가능</li> </ul> </li> </ul>
---------------------------	--

연구개발성과의 비공개여부 및 사유	해당사항 없음
-----------------------	---------

연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구 시설 장비	기술 요약 정보	소프트 웨어	표준	생명자원		회합물	신품종	
								생명 정보	생물 자원		정보	실물
3	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입기 관	연구시 설·장 비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치 장소)	ZEUS 등록 번호
n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

국문핵심어 (5개 이내)	대수층 열저장	목재 펠릿 보일러	히트펌프	수열에너지	스마트팜
------------------	---------	-----------	------	-------	------

영문핵심어 (5개 이내)	ATES	Wood Pellet Boiler	Heat Pump	Hydrothermal Energy	Smart Farm
------------------	------	--------------------	-----------	---------------------	------------

### <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 (대외 수상)
	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		논 문		학 술 발 표			정 책 활 용	홍 보 전 시	
													S C I	비 S C I						
단위	건	건	건	건	건	백만원	건	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	명	건	건	건		
가중치 (%)	20	20			2.5	2.5	10	10		20				10				5		
최종 목표	5	4			3	30	1	5,400		7				7				1		
1 차년	목표	1								1				1						
	실적	1								5				2				4		
2 차년	목표	2	1							2				3				1		
	실적	2	0				1	999		4			1	4				2 2		
3 차년	목표	2	2							2				3						
	실적	6	1							3			1	3				6		
종료 3년 이내	목표		1			3	30	1	5,500	2										
	실적	2																		
누적 실적	11	1			0	0	1	999		12			1	1				12 2		
달성률 (%)	220	25			0	0	100	19		171			초과 달성	초과 달성				1200 초과 달성		

**<연구성과표: 1단계 1차년>**

구 분	연구성과 세부내용	등록처	등록일
학술대회 발표	(발표주제명) 에너지 자립 시설원예를 위한 융복합(대수층 계간축열, 수열히트펌프, 목재펠릿보일러) 에너지 기술 소개	(학술대회명) 한국신·재생에너지학회 2020년도 학술대회	2020년 08월 24일(월)
학술대회 발표	(발표주제명) 융복합(대수층 계간축열, 수열히트펌프, 목재펠릿보일러) 에너지팜을 위한 온실생육환경 측정 방법에 대한 연구	(학술대회명) 한국에너지학회 2020년도 추계학술대회	2020년 11월 13일(금)
지식재산권 (특허출원)	(지식재산권명) 공기막 효과를 이용한 고품배지재배 냉난방장치 및 냉난방방법	(출원번호) 10-2020-0081892	2020년 07월 03일(금)
고용창출	(고용인력명) 김민석(정규직)	(고용창출기관명) (주)지엔에스엔지니어링	2020년 05월 01일(금)
고용창출	(고용인력명) 정종선(정규직)	(고용창출기관명) (주)센도리	2020년 06월 01일(월)
고용창출	(고용인력명) 김성채(계약직)	(고용창출기관명) 전라북도농업기술원	2020년 06월 08일(월)
고용창출	(고용인력명) 이수진(계약직)	(고용창출기관명) 전라북도농업기술원	2020년 06월 08일(월)
고용창출	(고용인력명) 최보순(계약직)	(고용창출기관명) 전라북도농업기술원	2020년 06월 08일(월)
홍보실적	(제목) 전북농기원, 그린 뉴딜 신재생에너지 농가 현장 실증	(매체명) 전북도민일보	2020년 06월 25일(목)
홍보실적	(제목) [인터뷰] 오정석 한국에너지기술연구원 책임연구원	(매체명) 냉난방공조 신재생 녹색건축 전문저널 kharn	2020년 07월 12일(일)
홍보실적	(제목) [농업 에너지전환 대표기업] 지엔에스엔지니어링	(매체명) 냉난방공조 신재생 녹색건축 전문저널 kharn	2020년 07월 12일(일)
홍보실적	(제목) [농업 에너지전환 대표기업] 센도리	(매체명) 냉난방공조 신재생 녹색건축 전문저널 kharn	2020년 07월 12일(일)

○ 본 연구를 통해 창출된 상기의 연구성과는 부당한 저자 표시, 표절, 부실학회, 개인명의 특허등록 등 연구부정행위가 없었음을 확인합니다.

**<연구성과표: 1단계 2차년>**

구 분	연구성과 세부내용	등록처	등록일
국내 전문 학술지 계재	(발표주제명) 대수층 계간 축열시스템 적 용을 위한 지하수의 화학적 특성 변화	(학술지명) 지하수토양환경 (ISSN) 1598-6438	2021년 08월 31일(화)
국내 학술대회 발표	(발표주제명) 밀폐형 개방형 융합 지중 열 교환기 개발 및 평가	(학술대회명) 대한설비공학회 2021년도 하계학술발표대회	2021년 06월 24일(목)
국내 학술대회 발표	(발표주제명) 융복합 (대수층계간축열, 수 열히트펌프, 목재펠릿보일 러) 에너지 기술을 이용한 온실 공조 유동해석	(학술대회명) 2021년도 대한기계학회 유체공학부문 춘계학술대 회	2020년 08월 18일(수)
국내 학술대회 발표	(발표주제명) 융복합 재생에너지 (대수층 계간축열, 수열히트펌프, 목 재펠릿보일러) 기술을 이용 한 온실 에너지 자립화 연구	(학술대회명) 한국농업기계학회 2021년 도 추계공동학술대회	2021년 10월 29일(금)
국제 학술대회 발표	(발표주제명) Assessment of a groundwater source heat pump (GWHP) in a fractured rock aquifer	(학술대회명) AFORE 2021	2021년 11월 01일(월)
지식재산권 (특허출원)	(지식재산권명) 융복합 에너지생산과 저장 기술을 이용한 온실 에너지 공급 시스템 및 방법	(출원번호) 10-2021-0001339	2021년 01월 06일(수)
지식재산권 (특허출원)	(지식재산권명) 대수층 계간축열을 위한 지 열정	(출원번호) 10-2021-0152850	2021년 11월 04일(목)
고용창출	(고용인력명) 최성은(정규직)	(고용창출기관명) (주)센도리	2021년 01월 01일(금)
고용창출	(고용인력명) 박상우(최초계획): 변경 조성우 → 최목(정규직)	(고용창출기관명) (주)센도리	조성우: 2021년01월01일(금) 최목: 2021년10월28일(목)
고용창출	(고용인력명) 조영삼(정규직)	(고용창출기관명) (주)지엔에스엔지니어링	2021년 02월 01일(월)
고용창출	(고용인력명) 장목화(정규직)	(고용창출기관명) (주)지엔에스엔지니어링	2021년 07월 01일(목)
○ 본 연구를 통해 창출된 상기의 연구성과는 부당한 저자 표시, 표절, 부실학회, 개인명의 특허등록 등 연구부정행위가 없었음을 확인합니다.			

구 분	연구성과 세부내용	등록처	등록일
전시회 참가	(제목) 대수층 계간축열 에너지생 산 및 저장 기술소개	(행사명) 2021 한국지하수토양환경 학회 춘계학술대회 전시회	2021년 04월 22~23일(목~금)
홍보실적	(제목) 신재생에너지를 활용한 나 리 현장 실증	(매체명) 투데이안, 농촌 진흥청, 농촌진흥일보	2021년 09월 08~09일(목~금)
매출액	(사업명) ESCO투자사업 (전남대학교 생활관 8동 에 너지절약사업)	(설치장소) 전남대학교 생활관 8동	2021년 02월 22일(화)
대외수상	(수상명) 에너지대상 에너지효율향상 부문 산업부장관표창	(수여기관) 산업통상자원부	2021년 11월 17일(수)
대외수상	(수상명) 연구개발사업공로 원장상	(수여기관) 농림식품기술기획평가원	2021년 12월 31일(금)
○ 본 연구를 통해 창출된 상기의 연구성과는 부당한 저자 표시, 표절, 부실학회, 개인명의 특허등록 등 연구부정행위가 없었음을 확인합니다.			

**<연구성과표: 2단계 1차년>**

구 분	연구성과 세부내용	등록처	등록일
국외 전문 학술지 게재 (SCI급)	(발표주제명) Open-source IoT monitoring system of a shallow geothermal system for heating and cooling year-round in Korea	(학술지명) ENERGY (ISSN) 0360-5442	2022년 07월 1일(금)
국외 학술대회 발표	(발표주제명) Performance on a groundwater source heat pump (GWHP) at a coastal aquifer	(학술대회명) AFORE 2022 (11th Asia-Pacific Forum on Renewable Energy)	2022년 09월28일(수)
국내 학술대회 발표	(발표주제명) 한국의 지질 및 수자원 특성에 따른 ATES 적용 가능성	(학술대회명) 한국지열·수열에너지학회 2022년도 추계학술발표대회	2022년 10월 6일(목)
국내 학술대회 발표	(발표주제명) 융복합(대수층 계간축열, 수열히트펌프, 목재펠릿보일러) 에너지팜 생육환경 모니터링 시스템 개발	(학술대회명) 대한기계학회 2022년 추계학술대회	2022년 11월 10일(목)
지식재산권 (특허등록)	(지식재산권명) 공기막 효과를 이용한 고품배지재배 냉난방장치 및 냉난방방법	(등록번호) 10-2439899	2022년 08월 31일(수)
지식재산권 (특허출원)	(지식재산권명) 효율향상을 위한 지열히트펌프시스템	(출원번호) 10-2022-0027052	2022년 03월 02일(수)
지식재산권 (특허출원)	(지식재산권명) 무빙 센싱장치 및 이를 이용한 재배 관리시스템	(출원번호) 10-2022-0050651	2022년 04월 25일(월)
지식재산권 (특허출원)	(지식재산권명) 유체송풍수단을 구비한 무빙 센싱장치 및 이를 이용한 재배 관리시스템	(출원번호) 10-2022-0050655	2022년 04월 25일(월)
지식재산권 (특허출원)	(지식재산권명) 센싱부승강수단을 구비한 무빙 센싱장치 및 이를 이용한 재배 관리시스템	(출원번호) 10-2022-0050657	2022년 04월 25일(월)
지식재산권 (PCT출원)	(지식재산권명) 무빙 센싱장치 및 이를 이용한 재배 관리시스템	(출원번호) PCT/KR2022/019071	2022년 12월 07일(수)
○ 본 연구를 통해 창출된 상기의 연구성과는 부당한 저자 표시, 표절, 부실학회, 개인명의 특허등록 등 연구부정행위가 없었음을 확인합니다.			

구 분	연구성과 세부내용	등록처	등록일
고용창출	(고용인력명) 김영찬(정규직)	(고용창출기관명) (주)센도리	2022년 01월 10일(월)
고용창출	(고용인력명) 이진수(정규직)	(고용창출기관명) (주)센도리	2022년 01월 10일(월)
고용창출	(고용인력명) 정성아(정규직)	(고용창출기관명) (주)센도리	2022년 05월 02일(월)
홍보실적	(제목) [TESS산업 R&D 선도기관] 한국에너지기술연구원	(매체명) 냉난방공조 신재생 녹색 건축 전문저널 kharn	2022년 09월 12일(월)
전시회 참가	(제목) 대수층 계간축열 에너지생 산 및 저장 기술소개	(행사명) 2021 한국지하수도양환경 학회 춘계학술대회 전시 회	2022년 04월 27~29일(수~금)
전시회 참가	(제목) 대수층 계간축열 에너지생 산 및 저장 기술소개	(매체명) 2022 스마트팜 코리아 박람회	2022년 06월 16~18일(목~토)
전시회 참가	(제목) 대수층 계간축열 에너지생 산 및 저장 기술소개	(행사명) 2022 한국지하수도양환경 학회 추계학술대회 전시회	2022년 10월 13~14일(목~금)
전시회 참가	(제목) 이동형 저가 온실 생육환경 정밀 모니터링 기술소개	(행사명) 2022년 농식품 R&D 재배 환경 제어기술 유망기술 발표회	2022년 11월 29일(화)
전시회 참가	(제목) 이동형 저가 온실 생육환경 정밀 모니터링 기술소개	(행사명) 2022 기업협업센터(ICC) R&BD 기술매칭페어	2022년 12월 17일(수)
○ 본 연구를 통해 창출된 상기의 연구성과는 부당한 저자 표시, 표절, 부실학회, 개인명의 특허등록 등 연구부정행위가 없었음을 확인합니다.			



<연구성과표: 종료 3년 이내>

구 분	연구성과 세부내용	등록처	등록일
지식재산권 (특허출원)	(지식재산권명) 충적대수층 이용 계절간 축열냉난방시스템의 배관장치	(출원번호) 10-2023-0010657	2023년 01월 27일(금)
지식재산권 (특허출원)	(지식재산권명) 충적대수층 이용 계절간 축열냉난방시스템의 환수장치	(출원번호) 10-2023-0010658	2023년 01월 27일(금)
지식재산권 (특허등록)	(지식재산권명) 효율향상을 위한 지열히트펌프시스템	(등록번호) 10-2505948	2023년 02월 27일(월)
○ 본 연구를 통해 창출된 상기의 연구성과는 부당한 저자 표시, 표절, 부실학회, 개인명의 특허등록 등 연구부정행위가 없었음을 확인합니다.			

최종보고서							보안등급					
							일반[ <input checked="" type="checkbox"/> ], 보안[ <input type="checkbox"/> ]					
중앙행정기관명	농림축산식품부			사업명	사업명	농업에너지 자립형 산업모델 기술개발사업						
전문기관명	농림식품기술기획평가원				내역사업명							
공고번호	제 농축2020-136호			총괄연구개발 식별번호								
				연구개발과제번호	120097-3							
기술분류	국가과학기술 표준분류	EA0707 (에너지/환경 제어설비)	40%	LBO203 (원예특용작물 시설/재배)	30%	LB0802 (농업 동력/에너지)	30%					
	농림식품과학기술 분류	CA0201 (농산에너지 생산·활용)	60%	RC0102 (농업 시설·환경 기계 시스템)	20%	AA0203 (원예작물 재배·생산)	20%					
총괄연구개발명		국문										
		영문										
연구개발과제명		국문	융복합 (대수층 계간축열, 바이오설비, 수열히트펌프) 에너지 생산·관리 및 실증모델 구축									
		영문	Convergence energy (Aquifer thermal energy storage, Bio-facility, Hydrothermal heat-pump) production, management, and demonstration model construction									
주관연구개발기관		기관명	한국에너지기술연구원		사업자등록번호	314-82-02242						
		주소	(34129) 대전광역시 유성구 가정로 152		법인등록번호							
연구책임자		성명	오정석		직위	책임연구원						
		연락처	직장전화			휴대전화						
		전자우편			국가연구자번호							
연구개발기간		전체	2020. 04. 29 - 2022. 12. 31 (2년 9개월)									
		단계	1단계	2020. 04. 29 - 2021. 12. 31 (1년 9개월)								
			2단계	2022. 01. 01 - 2022. 12. 31 (1년 0개월)								
연구개발비 (단위: 천원)		정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비	그 외 기관 등의 지원금				합계	연구개발비 외 지원금			
		현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계	
총계		5,500,000	66,700	1,478,700					5,533,700	1,478,700	7,045,400	
1단계	1년차	1,500,000	0	500,000					1,500,000	500,000	2,000,000	
	2년차	2,000,000	66,700	600,300					2,066,700	600,300	2,667,000	
2단계	1년차	2,000,000	0	378,400					2,000,000	378,400	2,378,400	
공동연구개발기관 등		기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	비고					
공동연구개발기관		한국지질자원연구원	심병완	책임연구원			역할	기관유형				
		(주)엔에스엔지니어링	황기섭	팀장			협동	정부출연연				
		(주)센도리	김정수	전무			협동	중소기업				
		숙명여자대학교	임용훈	부교수			협동	중소기업				
		전북농업기술원	범혜량	농업연구사			협동	대학				
연구개발담당자 실무담당자		성명	이현희		직위	기술원						
		연락처	직장전화			휴대전화						
		전자우편			국가연구자번호							

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

2023년 02월 24일

연구책임자: 오 정 석

주관연구개발기관의 장: 한국에너지기술연구원 (직인)

공동연구개발기관의 장: 한국지질자원연구원 (직인)

공동연구개발기관의 장: (주)엔에스엔지니어링 (직인)

공동연구개발기관의 장: (주)센도리 (직인)

공동연구개발기관의 장: 숙명여자대학교 (직인)

공동연구개발기관의 장: 전북농업기술원 (직인)

농림축산식품부장관·농림식품기술기획평가원장 귀하



## 〈 목 차 〉

<b>1. 연구개발과제의 개요</b>	<b>1</b>
<b>2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용</b>	<b>2</b>
2-1. 최종목표 .....	3
2-2. 세부목표 .....	2
2-3. (1단계 1차년도) 연구수행과정 및 내용 (2020년 수행) .....	3
2-4. (2단계 2차년도) 연구수행과정 및 내용 (2021년 수행) .....	39
2-5. (2단계 1차년도) 연구수행과정 및 내용 (2022년 수행) .....	116
<b>3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도</b>	<b>193</b>
3-1. 연구수행 결과 .....	193
3-2. 목표 달성 수준 .....	211
3-3. 연차별 정량적 목표 달성 수준 (시스템 구축 관련) .....	212
<b>4. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도</b>	<b>213</b>
4-1. 기술 기여도 및 산정근거 .....	213
4-2. 관련 분야 기여 및 기대 효과 .....	214
<b>5. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획</b>	<b>215</b>
<b>별첨 자료 (자체평가의견서, 연구성과 활용계획서)</b>	<b>221</b>

# 1. 연구개발과제의 개요

## 1-1. 연구개발의 개요

<b>연구개요</b>	<b>대수층 계간축열(ATES) 기반 바이오설비(목재 펠릿 보일러), 수열 융복합 온실 (냉온열)에너지 자립화 플랫폼 실증모델</b> 구축 (아래 그림 1-1. 참고)
-------------	---

○ 분야별 연구내용

- (1) **에너지 탐사**: 투수성과 저유성이 양호한 대수층 확보 기술
  - 최적지 지질조사: 최적 대수층 평가 및 축열체로서의 수리지질학적인 특성 규명기술
  - 대수층 축열성 평가: 대수층 열유동 해석, 적정 채수주입량 추정 융합 기술
  - 대수층 관리: 대수층 온도 모니터링 및 장기 관리 및 평가기술
- (2) **에너지 생산**: 냉온열을 안정적으로 생산해 온실로 공급하는 기술
  - 기저부하: 대수층 열저장(Aquifer Thermal Energy Storage; ATES) 기술
  - 열원보조: KS인증 바이오설비(목재 펠릿 보일러) 및 하천수 히트펌프 융합기술
  - 피크부하: 수열에너지(하천수 히트펌프) 이용 냉온열에너지 생산 기술
- (3) **에너지 변환**: ATES, 바이오설비 연계 하천수 이용 히트펌프 및 최적화(기계실 제어) 기술
- (4) **에너지 관리**: 냉온열을 안정적으로 공급받아 생육환경 및 에너지이용을 최적화하는 기술
  - 안정적 열부하 관리: 무축열조 열수송, 열분배 관리기술(버퍼탱크 설치공간 절약 가능)
  - 생육환경 최적화: 온실내부 온습도 정밀제어를 위한 냉온수이용 구역 냉난방 기술  
(기존 열풍기술 이용으로 인한 열원부와 주변부의 온습도 편차로 작  
황 불균일 및 생산성 저하문제 해결 가능)
  - 에너지 이용 효율향상: 온실 중앙부와 주변부의 열손실편차를 고려한 열설계 기술
- (5) **열환경 계측**: 온실 내 열환경 균일화 제어를 위한 열환경 정밀 모니터링 기술 적용·실증
- (6) **생육 최적화**: 열 활용성 증진 위한 작물 생육 최적 재배환경 조건 설정과 생산성 검정

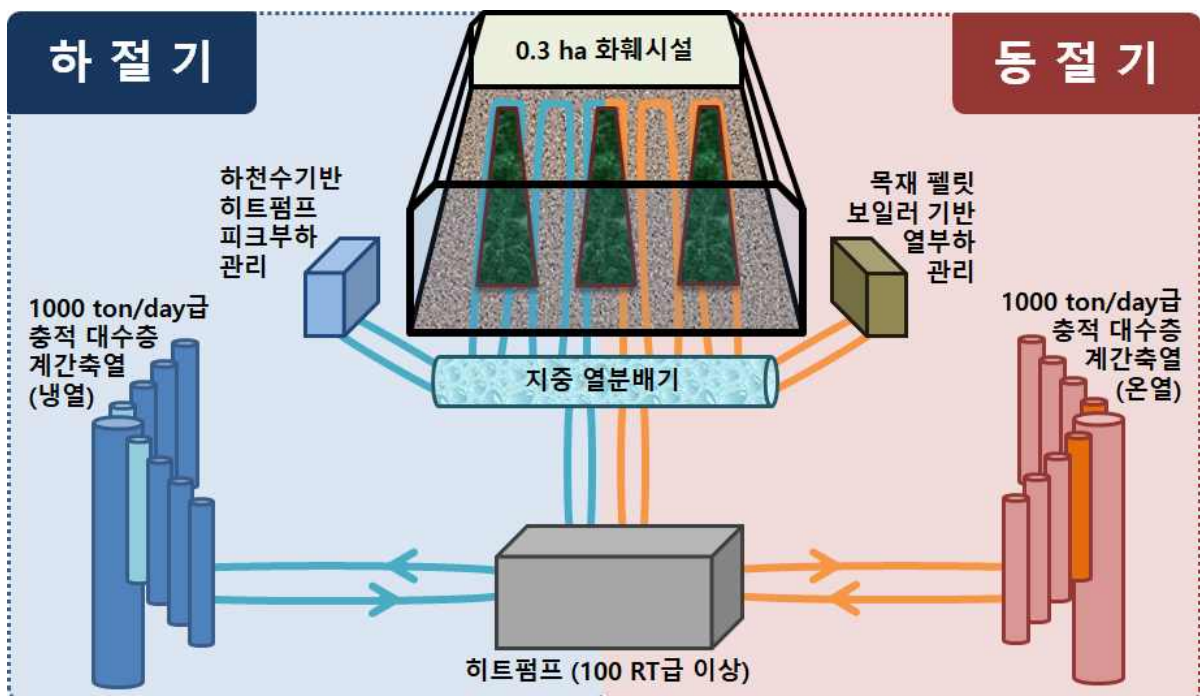


그림 1-1. 재생에너지 기반 융복합 에너지 자립화 시설원에 플랫폼 구축개요



## 2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

### 2-1. 최종목표

<b>연구목표</b>	시설원에 0.3 ha 급 <b>대수층 계간축열</b> 기반 <b>바이오설비</b> 및 <b>수열에너지</b> 융복합 영농에너지 자립화 실증 <b>플랫폼 구축</b> (아래 그림 2-1. 참고)
-------------	---

### 2-2. 세부목표

- 실증모델 구축목표
  - 실증설비규모: 0.3 ha급 이상 연동온실 적용 실증모델 구축
  - 융복합 재생에너지기술: **대수층 계간축열** 기술(0.3 ha급 이상, 상시 냉온열공급 기준), **목재 펠릿 보일러** 기술(KS인증 58 kW 이하 급 적용, 온열부하 보조), **수열 히트펌프** 이용 피크부하 대응 기술(100 RT급 이상, 시스템 COP 4.38(냉방), 3.29(난방) 확보)
- 참여기관별 기술개발 목표
  - 에너지 탐사(**한국지질자원연구원**): 대수층 계간축열을 위한 최적지 선정 및 대수층 평가
  - 에너지 생산(**(주)지엔에스엔지니어링**): 0.3 ha급 이상 무축열조 대수층 계간축열 기술개발
  - 에너지 변환(**(주)센도리**): 100 RT급 융복합 수열원(지하수, 하천수) 히트펌프 시스템 개발
  - 에너지 관리(**한국에너지기술연구원**): 바이오설비 융복합 0.3 ha급 온실 에너지 관리 기술개발
  - 열환경 계측(**숙명여자대학교**): 재생냉열 에너지 이용 냉방·제습 복합 열환경 계측기술 실증
  - 생육 최적화(**전북농업기술원**): 계간축열 활용성 증진을 위한 작물 최적 환경 조건 설정 및 생산성 검정



그림 2-1. 자립형 에너지 융복합 영농시설 실증모델 구축 연구개발 목표 및 내용

### 2-3. (1단계 1차년도) 연구수행과정 및 내용 (2020년 수행)

[주관기관] 한국에너지기술연구원 (기관별 핵심성과 위주 5쪽 이내 작성)

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용	연구결과
1단계 1차 년도 (2020)	바이오설비 융복합 온실 에너지 관리 실증모델 개발	기술적용 개념정립 및 플랫폼 공학적 분석	○온실 열에너지 공급 부하 산정	○(0.3 ha 기준) 원예시설 냉난방 온실 열에너지 공급부하 산정완료
			○목재 펠릿 보일러 성 능평가 및 선정	○한국에너지공단 신재생에너지설비 KS 인증 53 kW급 목재펠릿보일러 선정 및 시험평가완료
			○멀티 포인트 환경 모 니터링 시스템 구성	○멀티 포인트 환경 모니터링 시스템 구 성안 제시
			○전산해석 기반 온실 온도 평가	○CFD 기반 계산과학기법을 활용한 온 실냉난방공조 기술제시 및 특허출원
			○구역 난방 제어 로직 개발	○구역 난방 제어 로직 개발
			○하천수 수온, 수질조 사 및 열교환기 전처 리 기술 조사	○하천수 수온, 수질조사 및 열교환기 전 처리 기술 조사

#### (1) 온실 열에너지 공급부하 산정

##### ① 기술적용 온실 후보지 조사

- 과제착수 시 기술실증을 위한 참여기업인 광주 영산강 유역소재 농업법인 삼진스마트(김종화 대표)를 시작으로 전국각지 다수의 후보온실을 대상으로 수리지질조사를 진행하였음 (아래 그림 2-3-1-1. 참고)
- 조사결과 지질구조상 충적층이 형성되어 대수층 계간축열(Aquifer Thermal Energy Storage; 이하 ATES) 및 수열에너지 기술 적용이 가능한 실증처(전북 완주 청운flower)를 확보함



그림 2-3-1-1. 융복합 에너지팜 기술 실증처 탐색을 위한 수리지질조사: (가) 광주소재 농업법인 삼진스마트(2020년06월15일 월요일), (나) 전남 담양소재 온실(2020년 08월4일 화요일), (다) 충남 부여소재 온실(2020년08월13일 목요일), (라) 전북 완주소재 청운flower(2020년11월16일 월요일)

② 온실 열에너지 공급부하 산정 조사

- 고온성 화훼작물인 장미의 경우 적정 생육온도는 주간에 24 ℃~27 ℃, 야간에는 15 ℃~18 ℃이며 일교차는 10 ℃ 내외를 권장함
- 육묘시 온도는 삼목 후 발근을 위해 23 ℃~25 ℃가 좋으며 절절시 야간에는 15 ℃~17 ℃로 유지필요
- 본 연구과제에서는 적정 온실 난방부하로 약 100 kcal/hr/m<sup>2</sup> 내외로 산정하였으며 냉방의 경우 평균 일사량인 약 340 W/m<sup>2</sup>을 고려할 때 난방부하의 약 3배 정도의 부하가 소요될 것으로 예상됨 [아래 그림 2-3-1-2. (가) 및 (나) 참고]
- 한 여름철 온실 상단부는 (지역 및 일 조건에 따라) 약 45~55 ℃까지도 승온되며 주원인은 온실로 지속적으로 조사되는 최대 약 1000 W/m<sup>2</sup> 전후에 이르는 일사량과 바닥면에서의 축열량 때문이나 적정 난방용량으로 설계될 신재생에너지 생산만으로 냉방하기에는 한계가 있을 것으로 예상되므로
- 팬, 가림막, 포깅 등의 보조수단을 활용하는 것이 바람직할 것으로 생각됨
- 본 과제에서의 융복합 신재생에너지(대수층 계간축열, 수열에너지, 바이오설비) 기술적용 시 온실 열에너지 공급 설비용량 산정 참고 값 도출 [그림 2-3-1-2. (다) 참고]



구분 (1000평 기준)			용량	야간온도	생육 환경	에너지비율
채소	과일	화훼	[Mcal/hr]	[℃]		[%]
딸기			400	6	저온성	
배추			450	8	저온성	
샐러리			530	8	저온성	
숙갓			530	8	저온성	
상추			530	8	저온성	
시금치			530	8	저온성	
깻잎			410	10	중온성	
호박			530	11	중온성	
참외			530	11	중온성	
무			530	11	중온성	
오이			530	12	중온성	37.6
수박	포도		580	13	중온성	37.8
	한라봉	심비디움	580	15	고온성	28.8
		국화	640	15	고온성	
토마토			450	16	고온성	33.8
가지			580	16	고온성	26.4
고추			630	18	고온성	33.6
파프리카			640	18	고온성	
멜론			710	18	고온성	37.8
		장미	760	18	고온성	35.9
	감귤	호접란	730	23	고온성	58.4

(다)

그림 2-3-1-2. 온실 열에너지 공급부하 산정: (가) 난방부하(HT) 열수지, (나) 냉방부하(QT) 열수지, (다) 0.3 ha(약 1000평) 기준 온실 (최대)난방설비 구축 참고 용량





(가)



(나)

그림 2-3-1-3. 바이오설비(목재 펠릿 보일러) 설치 온실 방문: (가) 강릉 금전리 온실(2020년 06월18일 목요일), (나) 제천 구학리 온실(2020년 06월23일 화요일)

## (2) 목재 펠릿 보일러 조사, 선정 및 시험평가

### ① 바이오설비 HVAC 연계 온실적용 조사

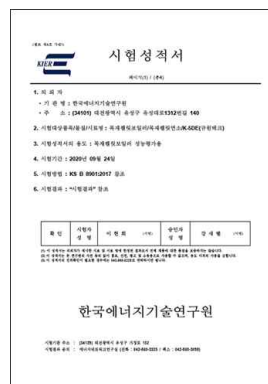
- 본 과제에서 온실에너지 공급 비상부하 담당으로 구축예정인 바이오설비(목재 펠릿 보일러) 에너지공급 설계안을 마련하기 위해
- 현재 활용 중인 농가 설치 사례를 조사하였음
- 강릉 금전리 파프리카 온실과 제천 구학리 화훼 온실을 방문하여 온실에너지 공급 방식 및 목재 펠릿 보일러 사용 실태 등에 대해 논의하였음 (아래 그림 2-3-1-3. 참고)
- 각각의 온실은 온수 보일러를 이용하여 온실에 수관이용 복사방식과 덕트이용 열풍방식으로 에너지를 공급하고 있었으며
- 만족도가 높아 향후 추가 설치 의향도 있었음

### ② 영농형 바이오설비 선정 및 시험평가

- 농기평(IPET) 농촌 에너지 자립화 기술개발사업 RFP에서 공지하고 본 과제에서도 목표로 하는 에너지관리공단 KS인증 신재생에너지설비인 58 kW<sub>th</sub>급 이하 목재 펠릿 보일러를 구축하기 위해 제조사를 방문하여 기술적용 방안에 대하여 논의하였으며 구매 후 에기연에 설치하여 시험평가 하였음 (아래 그림 2-3-1-4. 참고)



(가)



(나)



그림 2-3-1-4. 영농형 바이오설비 선정 및 시험평가(2020년 09월16일 수요일): (가) 목재 펠릿 보일러 에기연 설치, (나) 한국에너지공단 신재생에너지 KS 인증 53 kW<sub>th</sub>급 바이오설비 시험평가





(가)



(나)

그림 2-3-1-5. 온실 공조환경 및 환경모니터링 모사 설비: (가) 에기연 실험동 설치 모형 원예시설, (나) 온실공조 실험용 온도센서 설치모습

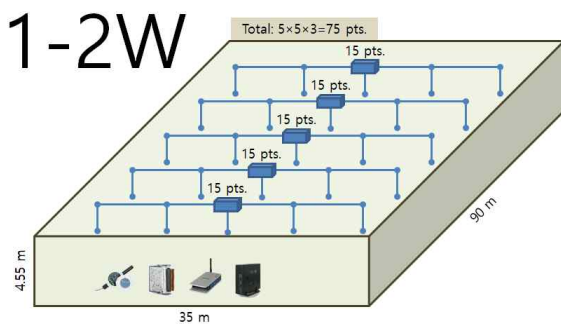
### (3) 멀티 포인트 환경 모니터링 시스템 구성

#### ① 온실 환경 모사용 모형 온실

- 본 과제에서 한국에너지기술연구원(아하 에기연)은 온실관리 부문을 담당하고 있음
- 에기연 연구개발기술을 온실에 적용하기에 앞서 기술을 검증하고 기존 실증온실에 보다 최적화된 기술을 적용하기 위하여
- 온실 생육환경을 모사하고 모니터링 할 수 있는 모형온실을 설계, 제작 및 에기연 실험동에 구축함 [아래 그림 2-3-1-5. (가) 참고]
- 추후 온실공조 시스템 및 생육환경 모니터링 시스템과 연계한 Pilot급 온실을 고도화할 계획임

#### ② 온실 환경 모니터링 시스템

- 본 과제에서 제안하고 있는 농촌에너지 자립을 위한 신재생에너지기술(대수층 계간축열, 수열히트펌프, 목재 펠릿 보일러)을 온실에 실증함으로써
- 기술적용 전후의 효과를 측정하기 위하여 각종 계측장비(휴대용 및 온실설치용 유무선 온습도 센서, 이산화탄소 측정 센서, 일사량계, 적외선 카메라 등)를 구축함
- 온실 및 생육환경 계측센서를 실증처에 적용하기 위한 모니터링 시스템 방안을 제안하여 한국에너지학회 추계학술대회(2020년11월13일 금요일, 여수 엑스포 컨벤션 센터)에서 발표함 (아래 그림 2-3-1-6. 참고)



(가)



(나)

그림 2-3-1-6. 온실 환경 모니터링 시스템: (가) 생육환경 계측센서 설치안, (나) 한국에너지 공학회 계측안 발표(2020년 11월13일 금요일)

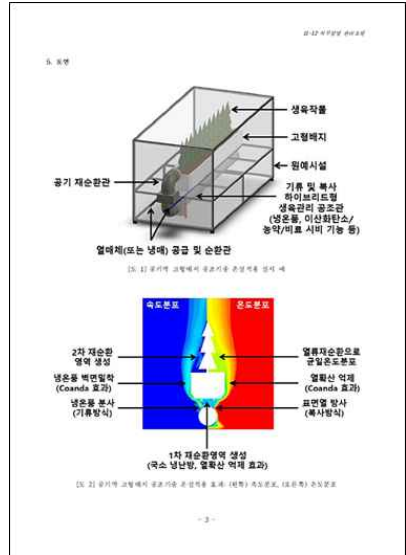
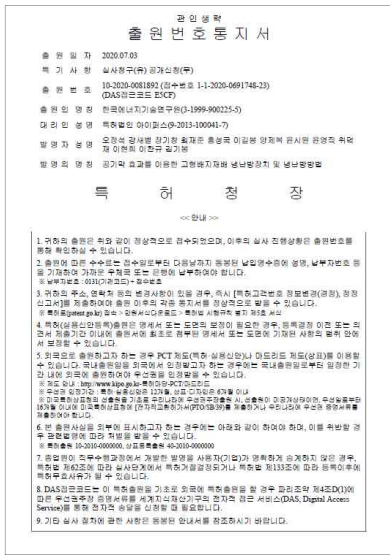


그림 2-3-1-7. 생육환경 정밀제어 공조시스템 연구성과: (가) 특허출원서(국내출원, 2020년 07월03일 금요일), (나) 작동원리, (다) 학술대회발표(신재생에너지학회, 2020년08월24일 월요일)

(4) 전산해석 기반 온실 온도 평가

① 생육환경 정밀제어 공조기술

- 온실 내 작물의 생육환경 정밀제어를 위한 국소 냉난방 공조방안을 제안하고 이를 실현하기 위한 기술을 개발하여 성능분석 중
- 현재 연구 중인 국소 생육환경 제어방안은 기존 복사방식과 대류방식을 혼합한 공기막 이용 하이브리드 공조방식임 (아래 그림 2-3-1-7. 참고)
- 생육환경 정밀제어 공조기술 관련내용을 국내특허출원 및 학술대회 발표함
- 계산과학기법 중 하나인 전산유체역학(CFD; Computational Fluid Dynamics) 기반의 열유동 해석기술을 활용하여 온실 난방방안을 연구 중 (아래 그림 2-3-1-8. 참고)
- 동절기 난방시에 대한 해석을 수행하여 열풍기(fan coil unit; FCU)에서 40 °C 온열 공기공급을 가정함(투입열량 약 440 Mcal/hr)
- 바닥면에서 온실천장 방향으로 FCU 위치(H1, H2, H3)를 변경하여 온실 내 온도 및 유동 영향을 검토함

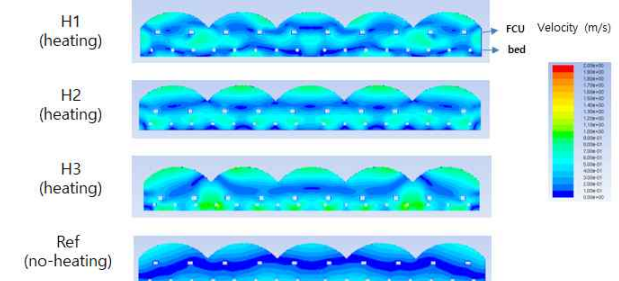
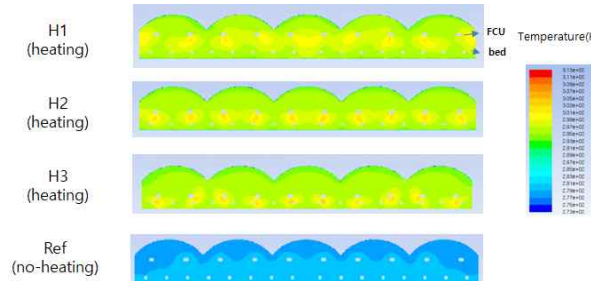


그림 2-3-1-8. 원예시설 생육환경 정밀제어 공조시스템 개발을 위한 열유동 시뮬레이션 해석 결과: (가) 온도분포, (나) 속도분포

**[협동기관] 한국지질자원연구원 (기관별 핵심성과 위주 5쪽 이내 작성)**

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용	연구결과
1단계 1차 년도 (2020)	대수층 계간축열을 위한 최적지 지질조사 및 대수층 평가	실증시설 지질조사 및 타당성 평가	○대상지역 예비 지질 조사	○3군데 대상지역 예비 지질조사 및 평 가완료
			○총적층 심도 조사	○삼차원 3D-multi logs, 연구부지 총적 층 및 모래/자갈층 분포 심도 평가
			○대수층 특성 평가	○수리적 특성 분석 및 비양수량 산정 (1.7 - 224 m <sup>2</sup> /day)
			○대수층 수질 분석 및 환경성 평가	○에너지 팜 실증지 대수층 축열 시스템 의 수리화학적 이해를 위한 선행연구 사례 조사
			○ATES 대수층 모델링 이론 및 적용성	○지하수-지열 시뮬레이션 프로그램 (TOUGH3)의 적용성 평가 및 예제

**(1) 대상지역 예비 지질조사**

① 실증후보지#1: 삼진스마트 (광주시 영산강 유역 소재)

- 이 지역 기반암은 좌측에 중생대 쥐라기 순창화강암이며 우측은 흑운모 화강암이 위치하고 있음
- 주변에 선캄브리아기 화강암질 편마암과 부분적으로 염기성 암막이 위치함
- 이 지역의 총적대수층은 심도가 깊지 않고 매우 얇은 층후를 가지며 시추과정에서 매립 물질이 많고 투수성이 매우 낮은 것으로 판단됨
- 온실이 위치한 지역의 총적층 분포가 협소하고 대수층 심도가 얇아 대수층 활용이 어려움

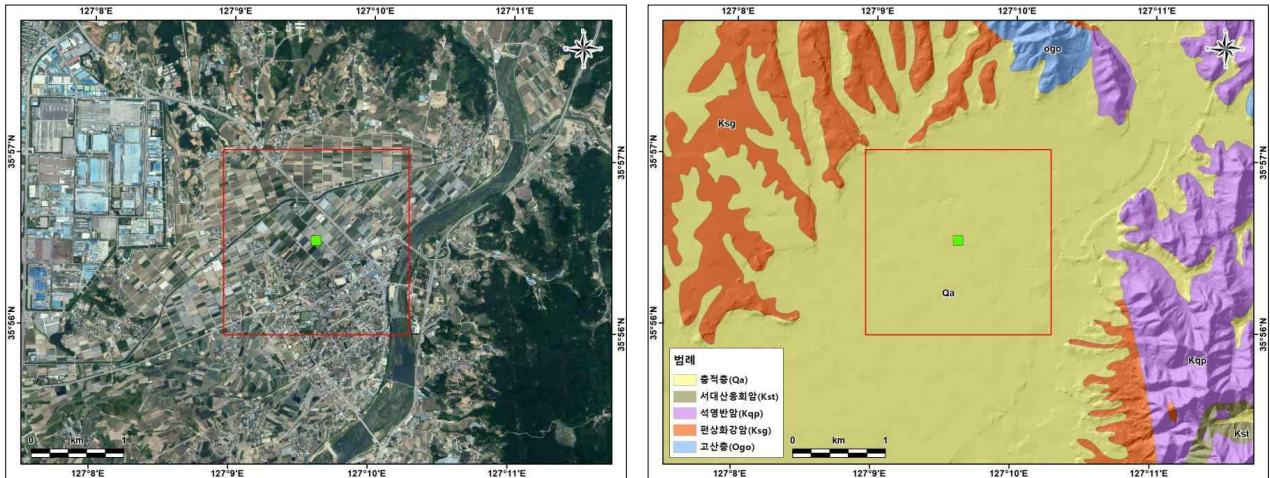
② 실증후보지#2: 지은농협법인 (경북 영덕군 영해면 연평리)

- 곡류 하천 옆의 넓은 총적층에 위치하여 모래층이 두껍게 퇴적되어 있으며, 신생대 제 4기층으로서 자갈, 모래, 실트질 등의 총적층으로 구성되어 있고 대상지의 좌측은 상부 대동계 신라층군으로 자색 세일, 사암, 역암의 기반암으로 이루어져 투수성이 높을 가능성이 큰 것으로 판단됨
- 주변으로 동해선 포항-삼척(영해-후포) 철도건설 지반조사 보고서 자료에 의하면 모래층 두께가 50 m 이상 발달되어 있으며, 하부에 유기질 실트층이 분포하는 것으로 나타남
- 이러한 층후는 대수층 활용에 유리한 것으로 판단되며 안정적인 열저장 및 활용이 가능할 것으로 판단되나 온실의 규모나 작물의 종류가 본과제의 방향성과는 맞지 않음

③ 실증후보지#3: 청운flower (전북 완주군 봉동읍 장기리)

- 이 지역 일대에는 고기원생대(Paleo-Proterozoic)에 속하는 화강암질편마암(Granitic Gneiss), 고생대(Paleozoic) 데본기(Devonian)의 변성퇴적암류, 쥐라기 중기(Mid-Jurassic)의 복운모화강암(Tow-mica Granite), 백악기(Cretaceous) 화산암류와 반심성암(Hypabyssal Rock), 총적층(Quaternary Deposits) 등 다양한 지질시대의 암층이 출현하고 조사지역에는 총적층이 넓게 분포 (그림 2-3-2-1. 참고)
- 남쪽으로 만경강이 위치하고 북쪽으로 우산천이 근접하여 위치. 우산천은 원래 자연하천이었으나, 인공도수로의 일부로 정비되어 직선화됨
- 완주군 일대의 저구릉지에서 얻어지는 자유면대수층(unconfined aquifer) 지하수는 생활하수 등에 의한 오염이 심할 수 있으므로 수질 모니터링이 필요





(가)

(나)

그림 2-3-2-1. 지형 및 지질환경: (가) 연구지역의 지형 및 조사범위, (나) 조사지역의 지질분포

## (2) 총적층 심도 조사

### ① 삼차원 3D-multi logs

- 토양층 상부의 매립층부터 실트, 모래, 자갈 그리고 풍화대까지의 비고결층을 총적층으로 분류하였고, 연암, 보통암, 경암은 암반으로 구분하여 완주군의 총적층 분포를 분석
- 306개의 시추공 지질주상도를 분석한 결과 완주군의 총적층(비고결층)의 두께는 약 1.7 m~65.0 m, 평균 분포심도는 약 12.5 m로 분석 (그림 2-3-2-2. 참고)

### ② 연구부지 총적층 및 모래/자갈층 분포 심도 평가

- 지질주상도를 바탕으로 구글어스에 총적층의 단면도를 도시한 결과 상부 매립층은 얇게 분포하고 있으며 모래/자갈층은 부분적으로 두텁게 분포하고 있는 것으로 파악 (아래 그림 2-3-2-3. 참고)
- 지질주상도가 데이터가 부족하여 정확한 지질분포를 판단하기는 어려움이 있으므로 연구부지 일대의 시추공 지질주상도 자료를 확보할 필요성이 있음

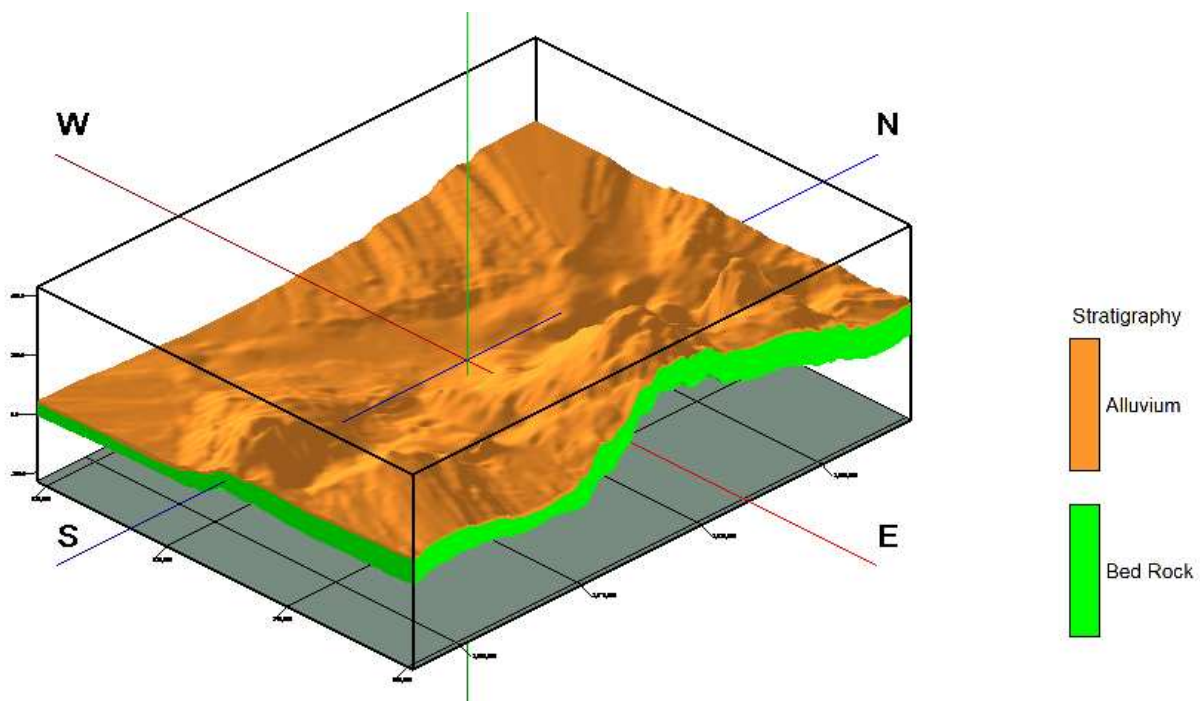


그림 2-3-2-2. 완주군 시추공 지질주상도 활용한 삼차원 3D-stratigraphy modeling



그림 2-3-2-3. 연구부지 일대 총적층 분포를 평가하기 위한 총적층 단면도

### (3) 대수층 특성 평가

#### ① 지하수 영향조사공 특성 및 영향조사

- 연구부지의 대수층 특성을 파악하기 위해 기존에 조사된 지하수 영향조사공을 바탕으로 총적 및 암반 대수층의 특성을 파악
- 연구부지 일대에는 약 10여 개의 지하수 영향조사공이 있고 이들 관정의 굴착심도는 14 m~265 m, 영향조사로 인한 각 관정들의 양수량은 100 m<sup>3</sup>/day~3,000 m<sup>3</sup>/day, 수위강하는 약 2.9 m~89.1 m로 조사

#### ② 대수층 비양수량 평가 (아래 그림 2-3-2-4. 참고)

- 지하수 영향조사를 통해 얻은 자료인 양수량과 수위 강하량을 활용하여 계산된 비양수량은 1.7 m<sup>3</sup>/day~224 m<sup>3</sup>/day의 범위였고 그림 13의 B와 C지역이 좋은 수량을 보이며 만경강에서 먼 거리에 있는 D지역이 좋은 양은 수량을 보이는 것으로 파악



그림 2-3-2-4. 연구부지 일대 지하수 영향조사공 비양수량 분포도



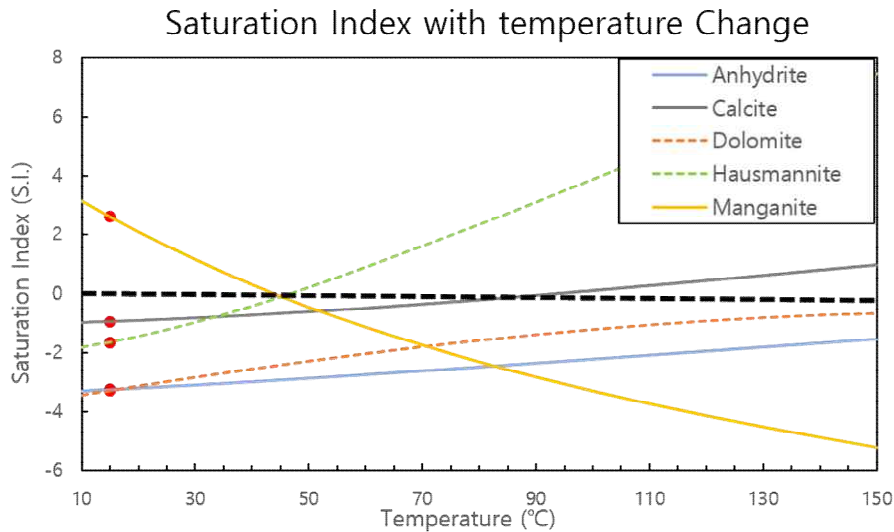


그림 2-3-2-5. 수온의 변동(모델에서는 수온 상승을 가정)에 따른 Saturation Index의 변화

#### (4) 대수층 수질 분석 및 환경성 평가

- ① 에너지 팜 실증지 대수층 축열 시스템의 수리화학적 이해를 위한 선행연구사례조사
  - 한국지질자원연구원 내에는 900 kW 규모의 개방형 및 밀폐형 지중 열교환기(Hybrid borehole heat exchanger, Hybrid BHE)가 2018년부터 가동 중에 있음
  - 겨울철 난방가동 이전 지하수계는 수질화학적으로 상당히 안정된 형태를 보이며, Ca-HCO<sub>3</sub> type의 천부지하수 수질특성을 보이고, 겨울철 난방가동 이후 깊이에 관계없이 유사한 이온성분 및 동위원소 불포를 가져 수직혼합이 상당히 강하게 이뤄지고 있는 것으로 나타남
- ② 대수층 수질 분석 및 환경성 평가
  - 해당 지하수계는 탄산염 광물의 침전보다 용해가 우세하게 일어날 수 있으며, 따라서 현재 상황에서 Hybrid BHE에 비정형 탄산염의 clogging이 생길 가능성은 매우 낮은 것으로 생각됨
  - PHREEQC 프로그램을 사용하여 깊이에 따른 연구지역 대수층의 광물 침전도를 계산하면, 심도별로 차이는 있으나 망간(수)산화광물 및 철(수)산화물의 침전이 일어날 가능성이 있음
  - 지하수온이 상승할 것으로 가정하여 예측하면, Hausmannite와 Manganite의 포화도가 역전되며 침전작용이 더 우세하게 일어날 것으로 추정되고, Calcite는 열역학적 특성에 따라 고온이 될수록 침전이 우세해지는 특성을 보임 (아래 그림 2-3-2-5. 참고)

#### (5) ATES 대수층 모델링 이론 및 적용성

- ① TOUGH3의 특성
  - 미국 Lawrence Berkeley National Laboratory에서 개발된 지하수 및 열 유동 시뮬레이션 프로그램인 TOUGH3는 세계적으로 널리 사용되는 TOUGH2의 최신 업그레이드 버전으로 방사선 폐기물 처분장, 이산화탄소 지중 저장, 지열 발전과 관련된 시뮬레이션에서 많이 활용됨
  - TOUGH3는 Integrated finite different method를 사용하여 위 방정식을 이산화하여 계산하여 유체의 질량이나 에너지가 계산 과정에서 잘 보존되고 유체 흐름 등을 계산할 때 주로 많이 사용되는 유한차분법(Finite Different Method) 대비 복잡한 형상의 모델 도메인을 다루는 데 유리하고 유한요소법(Finite Element Method) 대비 적은 수의 cell을 사용해도 비교적 정확하고 잘 수렴하며 계산 속도가 빠르다는 장점이 있고 병렬계산도 가능

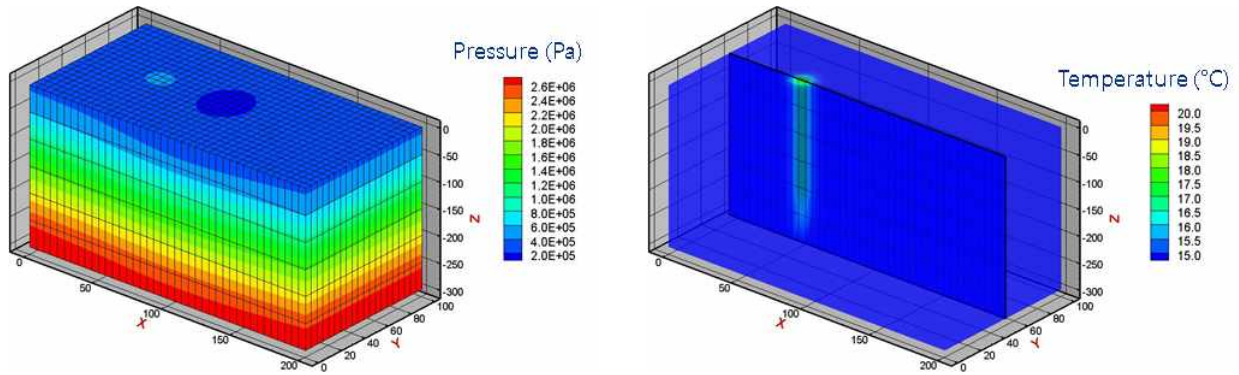


그림 2-3-2-6. 주입정과 양수정에서의 압력(좌)과 온도(우) 분포

② ATES 시스템(Two-well) 예제

- 다양한 수리지질학적 조건(수리전도도:  $10^{-3}$  m/s,  $10^{-5}$  m/s,  $10^{-6}$  m/s,  $10^{-7}$  m/s, 수두 구배: 0, 0.01, 0.05)을 반영하여 여름-가을-겨울-봄-여름의 총 5계절 중 여름 3개월, 겨울 3개월 동안 가동(하루 8시간 가동, 16시간 정지)하는 시나리오
- 주입정의 온도는 첫 번째 여름의 경우 지하수 흐름 속도의 로그 값에 거의 선형으로 나타나고 두 번째 여름의 경우 축열효과로 인해 성능이 증가한 케이스가 발생, 양수정의 경우 주입된 물이 양수정에 큰 영향을 미치지 않으므로 온도에 큰 차이가 없고 두 번째 여름에 지하수 흐름 속도가 느린 경우 축열효과에 의한 성능 향상은 관찰됨

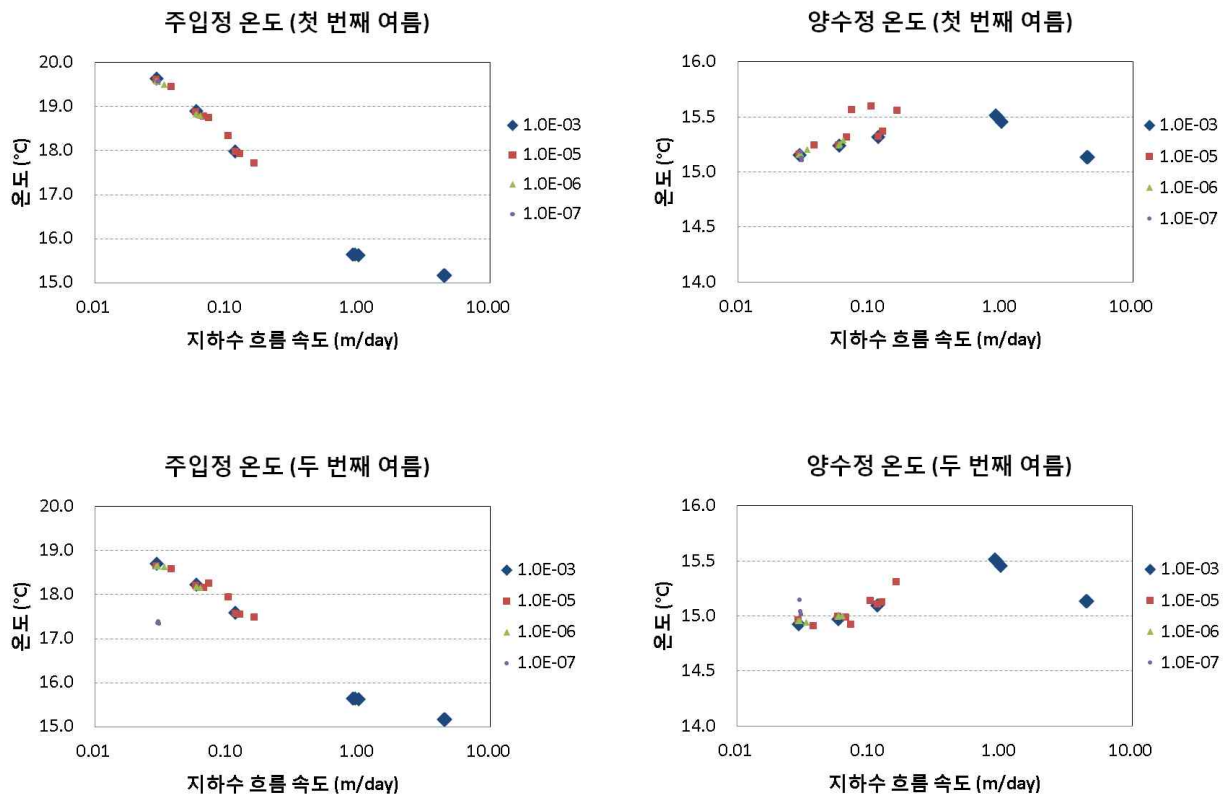


그림 2-3-2-7. 지하수 흐름 속도 변화에 따른 양수정과 주입정 주변에서의 온도 변화

[협동기관] (주)지엔에스엔지니어링 (기관별 핵심성과 위주 5쪽 이내 작성)

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용	연구결과
1단계 1차 년도 (2020)	대수층 계간축열 에너지 생산 및 저장 실증모델 개발	실증처 수리지열학적 특성 조사 및 ATES 시스템 설계	○국내 주요 시설원예단지 및 축적층 현황조사	○국내 5대강 주변과 해안이 포 함되는 시군구 중심으로 조사 완료
			○실증처 후보지역 예비조 사 및 선정	○전국 19개 농가를 대상으로 기초자료 수집 및 현장방문을 통해 10개 농가 선정
			○실증처 수리지학적 특 성 조사	○10개 농가를 대상으로 수리지 질특성을 조사하고 실증처(완 수, 성원flower) 선정
			○축적대수층 지열정(집수/ 함양) 설계	○수리지질 조사결과를 반영한 지열정 설계 완료
			○시설원에 ATES시스템 설 계	○ATES 시스템 용량설계 및 운 전방법 수립(안)

(1) 국내 주요 시설원예단지 및 축적층 현황조사

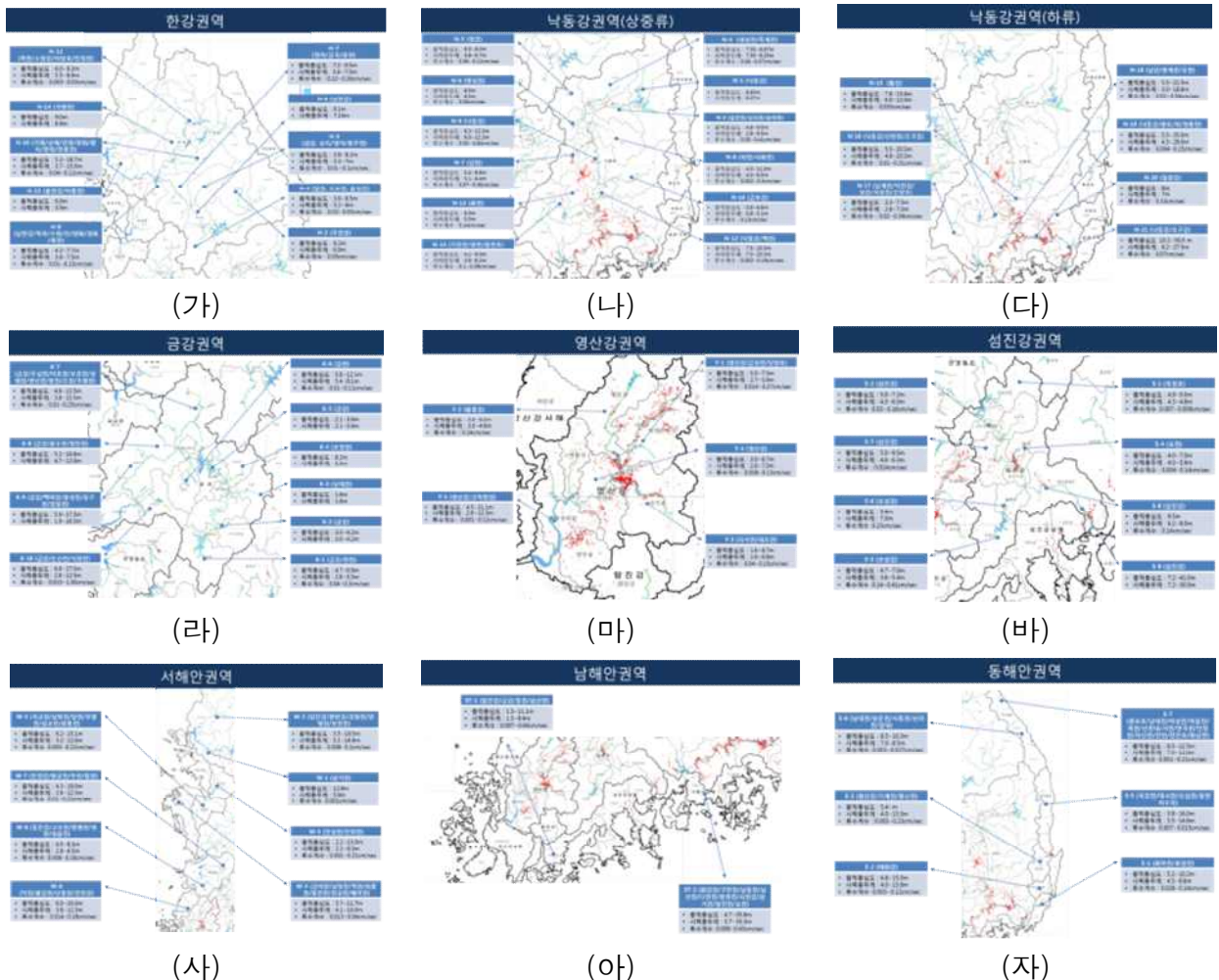


그림 2-3-3-1. 국내 5대강 및 해안지역 축적층 현황조사: (가) 한강권역, (나) 낙동강권역(상종류), (다) 낙동강권역(하류), (라) 금강권역, (마) 영산강권역, (바) 섬진강권역, (사) 서해안권역, (아) 남해안권역, (자) 동해안권역



① 국내 총적층현황 조사

- 예비실증처 선정은 국가지하수정보센터(<http://www.gims.go.kr>) 자료를 참조하여 국내 총적층 일반현황을 검토하였음
- 국내 총적층현황 5대 강을 중심으로 조사하고 추가적으로 해안권역까지 조사·검토함
- 국내 5대강 주변화 해안이 포함되는 시군구를 중심으로 공개된 시추주상도를 취합 정리하여 검토하였음

② 조사결과

- 서울지역 및 경기도지역은 도시화에 따른 하천정비가 이루어져 ATES 적용 부적합함
- 한강권역에서 총적대수층을 이용하는 ATES 적용이 가능한 지역은 경기도 광주 및 강원도 원주 등의 지역으로 조사됨
- 낙동강권역은 전체지역에서 ATES 적용에 적합한 투수계수를 보이며, 낙동강 상류보다는 하류지역에서 경제적이고 효율적인 시스템 적용이 가능할 것으로 조사됨
- 중상류 지역에서 총적층 심도 20 m 내외의 지역에서는 중소규모의 ATES적용이 가능하며, 하류 일부 지역에서 대규모 ATES 적용이 가능할 것으로 판단됨
- 대구 달성, 경남 합천, 경북 경주 등의 지역에서는 중소규모의 ATES를 적용할 수 있고 부산 및 경남 양산 등의 지역에서는 대규모 ATES 적용이 가능할 것으로 판단됨
- 금강 전체지역에서 ATES 적용에 적합한 투수계수를 보이나, 상류(동쪽)지역은 총적층 두께가 얇아 적용할 수 없을 것으로 판단되나 중·하류(서쪽)지역을 대상으로 시스템적용이 가능할 것으로 조사됨
- 금강권역에서 세종, 충남 천안, 충남 청양, 전북 군산, 충남 공주, 논산, 부여, 서천 등의 지역에서 중소규모 및 일부 서천지역에서 중대규모의 ATES 적용이 가능할 것으로 판단됨
- 영산강권역 중상류지역 총적층심도는 9 m 이내로 대부분 ATES 적용 불가능한 것으로 생각되며, 하류지역(Y-5) 총적층심도 14 m~30 m의 총적층 심도를 가진 지역에서 ATES 적용이 가능할 것으로 판단됨
- 영산강권역에서 광주시 광산구, 전남 무안, 전남 영광, 전남 영암 등의 지역에서 중소규모 및 전남 장성, 전남 함평지역에서 중대규모 ATES 적용이 가능할 것으로 판단됨
- 영산강 하류지역 총적대수층은 자갈, 모래, 실트가 혼합된 구조로 약 20~30 m 내외의 심도로 지역에 따라 대용량 ATES 적용이 가능할 것으로 판단됨
- 섬진강 전체지역에서 ATES 적용에 적합한 투수계수를 보이나, 섬진강 중상류지역의 총적층심도는 10 m 이내로 대부분 ATES 적용 불가능한 것으로 판단되며, 강의 합류 지역(S-7, S-8)과 하류지역(S-9) 총적층심도 15~30 m의 총적층 심도를 가진 지역에서 ATES 적용이 가능할 것으로 판단됨
- 섬진강 합류 지역과 하류지역 총적대수층은 자갈, 모래, 실트가 혼합된 구조로, 합류지역의 총적층 심도는 약 15 m~20 m 내외이고 하류지역 총적층 심도는 24 m~30 m로 ATES 적용에 충분한 조건을 만족한 것으로 판단됨
- 전남 곡성군과 전남 구례군의 경우 중소규모의 ATES 적용이 가능하고, 전남 광양시와 경남 하동군 대규모 시스템을 설치 가능할 것으로 조사됨
- 해안권역은 서해, 동해, 남해를 대상으로 서해 52개, 남해 23개, 동해 28개 시군구를 대상으로 조사하여 정리함
- 서해안권역 ATES 적용 가능한 지역은 경기도 시흥시, 경기도 김포시, 경기도 안산시, 경기도 평택시, 경기도 화성시, 충남 천안시, 충남 당진군, 충남 부여, 충남 서산시, 전남 무안군, 전남 함평군, 전북 군산시, 전북 김제시, 전북 부안군, 전북 정읍시 등에서 가능성이 높은 것으로 조사됨

표 2-3-3-1. 국내 대수층 계간축열(ATES) 기술 적용가능지역

구 분	내 용(시군구)	도시수
경기도	광주, 시흥, 김포, 안산, 평택, 화성	6
충청도	세종, 천안, 청양, 공주, 논산, 부여, 서천, 천안, 당진, 서산	10
경상도	대구, 합천, 경주, 부산, 양산, 하동, 창원	7
전라도	군산, 광주, 무안, 영광, 영암, 곡성, 구례, 장성, 함평, 광양, 김제, 부안, 정읍	13
강원도	원주, 동해, 삼척, 고성, 속초	5

- 남해안 지역의 ATES 적용 가능한 지역은 전남 광양시, 경남 창원시 등에서 가능성이 높은 것으로 조사됨
- 동해안 지역의 ATES 적용 가능한 지역은 부산 기장군, 경남 양산시, 경북 경주시, 강원도 동해시, 강원도 삼척시, 강원도 고성군, 강원도 속초시 등에서 가능성이 높은 것으로 조사됨

③ 국내 ATES적용 가능한 지역

- 국내 총적대수층은 5대강을 중심으로 발달되어 있다. 현재 지열에너지원으로 총적대수층을 사용할 수 있는 지역은 5대강 중하류 지역과 해안지역임
- 국내 총적대수층은 대부분 10 m 이하, 20 m 이하, 20 m 이상으로 분류할 경우 대부분 20 m 이하의 총적층 두께를 보이며, 5대강 하류지역에서 20 m 이상의 총적층 두께를 가지는 것으로 조사됨
- 지열에너지원으로 총적대수층을 사용할 경우 최소 15 m~20 m의 총적층심도와 적절한 투수계수를 가지는 층을 대상으로 중소규모의 ATES를 적용과 20 m 이상의 지역에서는 대규모 시설 구축의 가능성 검토가 필요
- 국내 총적대수층 심도 30 m 이상 지역은 남해안 지역에 주로 분포하며 전남 함평, 광양, 부산 등의 지역으로 조사됨

## (2) 계간축열 적용가능성 평가: 실증처 후보지역 예비조사 및 선정

### ① 우선선정 후보지

- 본 과제 실증처 선정에 있어 참여기관인 농업법인 삼진스마트(광주시 북구 지야동 711번지 위치) 장미원예시설을 대상으로 수문지열학적 예비현장조사를 2020년 6월에 진행하였음
- 예비현장조사 총적층 깊이가 12 m~14 m로 확인되었고, 자갈·모래층 1.8 m~2 m로 조사됨
- 대수층의 투수계수는 BH-1 (5 m~6 m)에서  $9.85 \times 10^{-4}$  cm/s, BH-2 (9 m~10 m)에서  $8.53 \times 10^{-4}$  cm/s로 시험되어 대수층 계간축열(ATES) 기술적용이 불가한 것으로 결정됨

### ② 예비 실증후보지 선정

- 예비 실증후보지는 과제참여의사를 확인한 19개 농가를 대상으로 온실 위치, 규모, 형태 등을 검토하여 1차 선정하였음
- 19개 농가 예비실증후보지는 국가지하수정보센터와 한국지질자원연구원(KIGAM) 지질정보서비스 시스템 등의 기존자료를 검토하고 현장답사를 통해 선정된 10개 농가를 대상으로 시추조사를 실시하였음
- 강릉지역과 경상남북도 지역은 대수층 계간축열(ATES) 시스템을 적용하기 유리한 지질조건을 가진 것으로 조사되었으나, 온실의 위치, 규모, 형태, 재배작물 등과 주변지역 지하수 현황, 법적인 소유권리, 조사 및 시공시 작업환경 확보여부 등의 외부적인 요인을 고려하여 제외함
- 최종적으로 10의 농가를 실증후보지로 선정하여 수리지질학적인 특성을 조사하였음
- 예비 실증후보지 선정은 아래 그림 2-3-3-2.와 같음

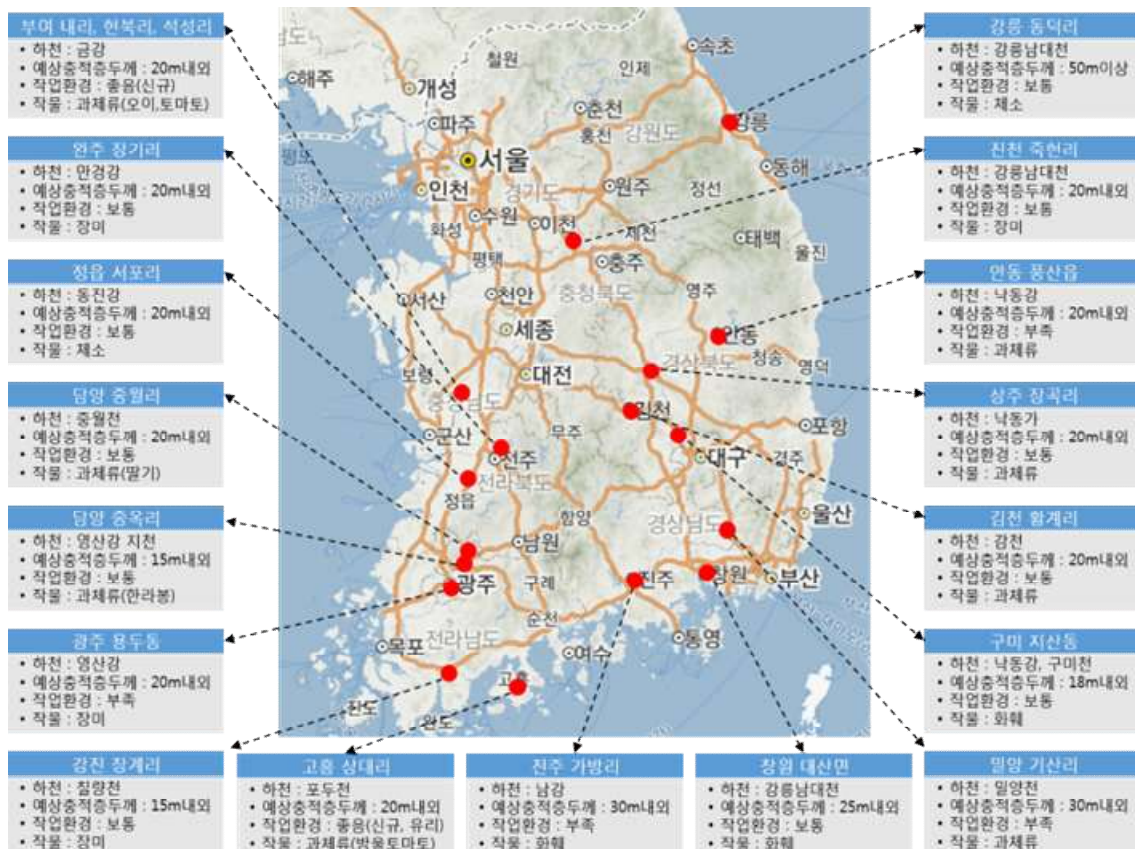


그림 2-3-3-2. 실증처 예비조사 및 선정 위치도

표 2-3-3-2. 예비 실증후보지 선정(11개 시설)

구분	총적층(m)	대수층(m)	온실형식	온실면적	오염시설	부지 소유	건축상태
부여 내리	20 m	9 m	연동(유리)	2,800평	무	본인	건축중
부여 현북리	40 m 이상	10 m 이상	연동(비닐)	1,800평	무	본인	운영중
부여 현북리	40 m 이상	10 m 이상	연동(비닐)	1,400평	무	본인	계획중
부여 상대리	20 m	8 m	연동(유리)	2,800평	무	본인	계획중
완주 장거리	18 m	5 m	연동(비닐)	1,050평	무	본인	운영중
정읍 서포리	19 m	7 m	연동(유리)	2,700평	무	본인	운영중
담양 중월리	24 m	10 m 이상	연동(유리)	2,600평	무	본인	운영중
담양 중옥리	18 m	4 m	연동(비닐)	980평	무	본인	운영중
광주 용두동	17 m	5 m	연동(비닐)	1,000평	무	본인일부	운영중
강진 장계리	18 m	5 m	연동(비닐)	1,200평	무	본인	운영중
고흥 상대리	24 m	8 m	연동(유리)	5,800평	무	본인	건축중

※ 총적층 및 대수층 두께는 국가지하수정보센터와 KIGAM 지질정보서비스 시스템 등의 기존자료를 검토

※ 온실관련 사항은 현장답사 시 검토

③ 실증처 선정을 위한 고려사항

○ 계간축열(ATES)공법 적용에 필요한 수문지열학적 조건

- 밀폐된 대수층
- 총적층 두께: 15 m~50 m
- 총적대수층 두께: 5 m~10 m
- 대수층 투수계수: 최대 20 m/day ( $2.3 \times 10^{-2}$  cm/s), 최소 5 m/day ( $5 \times 10^{-3}$  cm/s)  
(국내 총적대수층 투수계수 : 5 m/day;  $5 \times 10^{-3}$  cm/s 내외)
- 지하수 오염: 수문학적 영향범위 내에 지하수의 오염이 없는 것이 최적
- 지하수의 수질: 중성의 순수한 지하수가 최적

○ 계간축열(ATES)공법 적용에 필요한 현장환경 조건

- 온실의 형식: 단동 < 연동(비닐) < 연동(유리) 순으로 유리함
- 온실의 건축 상태: 운영중 < 건축중 < 계획중(연구 진행 고려) 순으로 유리함
- 온실 부지의 소유 유무: 지중시설물, 전기 및 배관 등의 법적인 인허가에 있어 부지소유자와 이용자가 동일인이 유리함

표 2-3-3-3. 시추조사 및 현장투수시험 결과

공 번	지층	심도 (m)	층후 (m)	구성성분	N값	투수계수(cm/s)
BH-1	매립층	0.0~1.3	1.3	실트질 모래	5/30	
	퇴적층1	1.3~4.7	3.4	점토 섞인 실트질모래	7/30	
	퇴적층2	4.7~6.5	1.8	자갈 섞인 모래	23/30	9.85E-04
	풍화토	6.5~14.0	7.5	실트질 모래	50/10	
	풍화암	14.0~24.0	10	실트질 모래	50/02	9.21E-05
BH-2	매립층	0.0~3.3	3.3	모래(폐기물 혼재)	6/30	
	퇴적층1	3.3~4.5	1.2	모래	7/30	
	퇴적층2	4.5~6.5	2.0	자갈 섞인 모래	10/30	
	풍화토	6.5~12.0	5.5	실트질 모래(중립질)	50/10	4.83E-04
	풍화암	12.0~15.4	3.4	실트질 모래(중립질)	50/08	

(3) 예비 실증처 수리지질학적 특성 조사

① 우선선정 후보지 수리지질학적 특성 조사

- 본 과제 실증처 선정에 있어 참여기관인 농업법인 삼진스마트(광주시 북구 지야동 711번지 위치) 장미원예시설을 대상으로 수문지열학적 특성조사를 진행하였음
- 수문지열학적 특성조사는 냉수정과 온수정의 이격 거리를 고려하여 대상 온실(연동)을 중심으로 북서와 남동방향으로 80 m의 거리를 확보함
- BH-1, 2는 총적층의 분포는 풍화토(심도 12 m~14 m)까지는 비슷한 형상을 보이거나 풍화암층의 형상은 영상강에 인접한 BH-2에서 BH-1방향을 급격하게 깊어지는 경향이 있음
- 시추조사결과 BH-1, BH-2의 총적층은 6.5 m로 조사되었으며, 자갈 섞인 모래층의 경우 지하수 수위 약 5 m를 유지하여 지하수자원 확보가 어려울 것으로 판단됨
- BH-1지점의 경우 투수계수(9.85E-4~9.21E-5)가 낮아 축열/축냉의 효율이 저조할 것으로 판단됨
- BH-2지점 또한 BH-1과 비슷한 투수계수(4.83E-4)로 조사되어 총적대수층 이용이 불가능함



(가)

(나)

그림 2-3-3-3. 예비실증처 시추조사 위치 및 지층단면도: (가) 시추조사 위치도, (나) 지층단면도



② 실증후보지 수리지질학적 특성 조사

- 최적의 지질조건을 조사하기 위해 9개의 원예시설을 대상으로 수리지질학적인 특성을 조사하였음
- 1차로 7개 지역을 조사하고, 2차로 2개 지역을 조사하였음
- 1차 수리지질학적 특성 조사는 계간축열(ATES)공법이 적용 가능한 부지선정을 위해 실시하였으며, 부여, 정읍, 담양, 고흥 지역을 대상으로 실시하였음
- 계간축열(ATES)공법 적용 가능성측면에서 검토할 경우 부여 현북리, 부여 내리, 고흥 상대리, 정읍 서포리, 부여 석성리, 담양 중월리 순으로 지층구조가 우수한 것으로 조사되었음
- 2차 수리지질학적 특성 조사는 수열원 시스템, 바이오 펠릿, 작물 등을 고려하여 추가 진행함
- 1차 조사에서는 계간축열(ATES)공법 적용 가능성을 높이는 목적으로 조사되어 수열과 바이오 설비등의 고려가 부족하여 2개의 온실을 추가 조사하였음
- 완주 장기리 지역의 온실의 경우 각 열원의 융복합이 가능하나, 계간축열(ATES)공법 적용에 있어 조금 불리한 조건을 가지고 있어 대상온실 주변을 대상으로 전기비저항탐사를 시행하고,
- 12월 중순 시험정을 구축과 대수성시험을 통해 각 열원의 용량선정과 현장에 맞는 계간축열(ATES)공법을 결정하고자 함

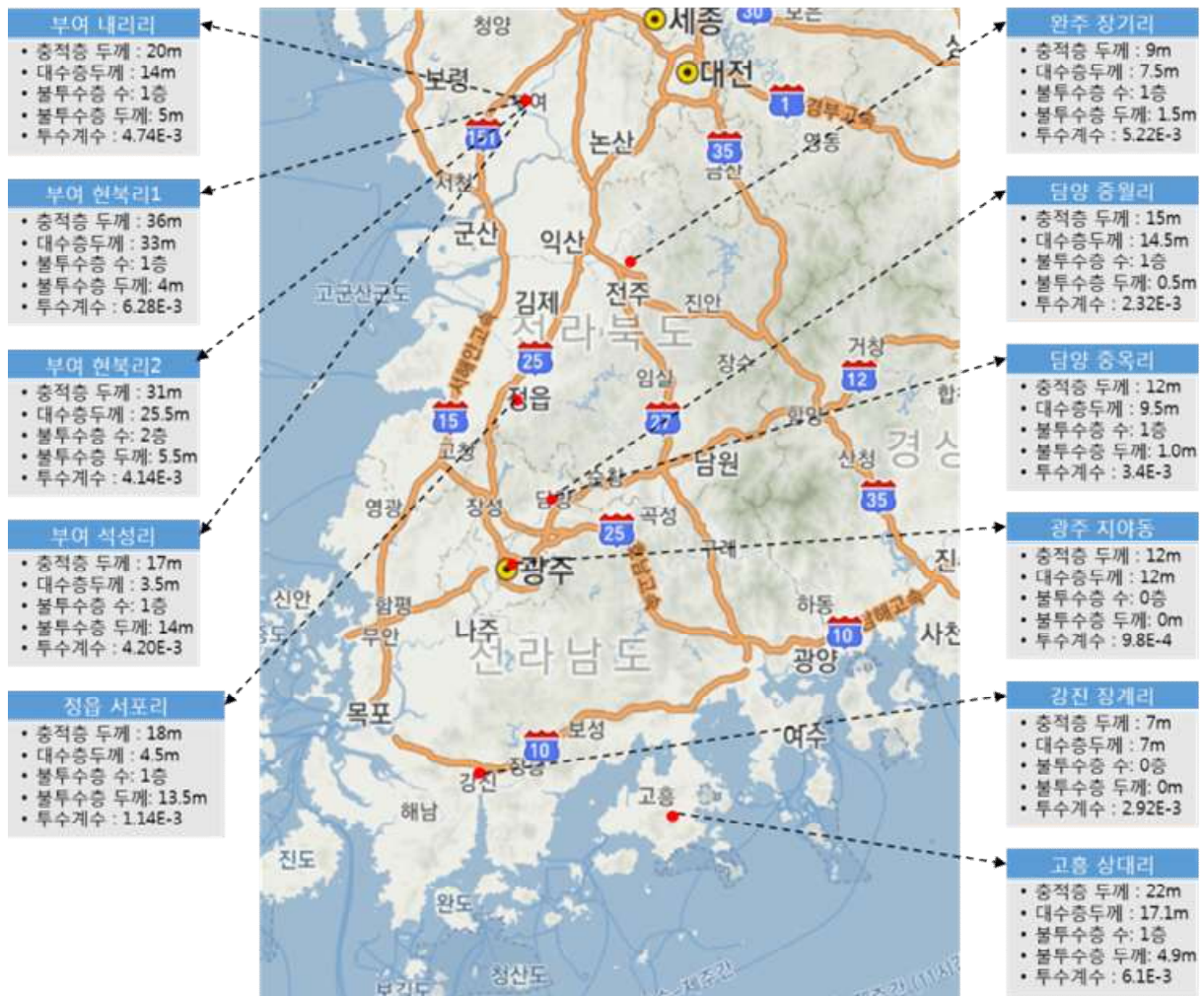


그림 2-3-3-4. 실증후보지 수리지질학적 특성조사 위치도

표 2-3-3-4. 시추조사 및 현장투수시험 결과

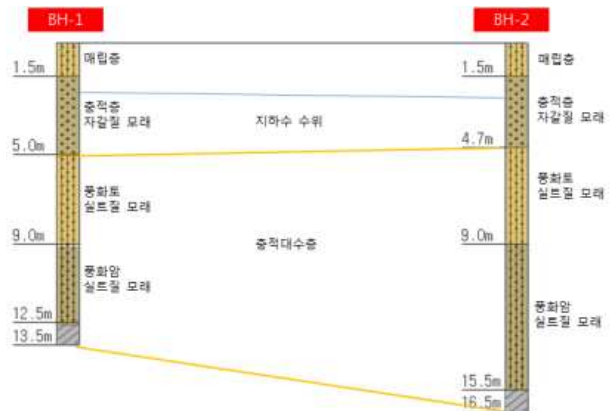
공 번	지층	심도 (m)	층후 (m)	구성성분	N값	투수계수(cm/s)
BH-1	매립층	0.0~1.5	1.5	실트질 모래	14/30	
	퇴적층	1.5~5.0	3.5	자갈질 모래	23/30	
	풍화토	5.0~9.0	4.0	실트질 모래	28/30	$3.83 \times 10^{-3}$
	풍화암	9.0~12.5	3.5	실트질 모래	50/05	
	연암층	12.5~13.5	1	기 반 암	-	$5.22 \times 10^{-3}$
BH-2	매립층	0.0~1.5	1.5	실트질 모래	8/30	
	퇴적층	1.5~4.7	3.2	자갈질 모래	19/30	
	풍화토	4.7~9.0	4.3	실트질 모래	31/30	$3.39 \times 10^{-3}$
	풍화암	9.0~15.5	5.5	실트질 모래	50/05	
	연암층	15.5~16.5	1	기 반 암	-	$2.17 \times 10^{-3}$

③ 실증지 수리지질학적 특성 조사(완주 장거리)

- 현장조사는 온실 남쪽과 북쪽에 조사하려고 계획하였으나 농장주의 요청으로 북쪽에 2 지점을 조사하였음
- 남쪽지점은 온실 빗물받이가 설치되어 있고 진입로에 작물이 있어 전기비저항탐사로 대체할 예정이다. 추가 정밀조사는 본 지열정 구축시 정밀시추조사를 실시할 예정임
- 시추조사 결과는 BH-1, BH-2 지점의 지층구조는 동일하며, 남쪽으로 갈수록 심도가 깊어지는 경향을 보이며 본 지역에서는 불투수층(실트/점토) 및 총적층 두께가 얇고, 연암층에 균열이 심한 것으로 조사되었음
- 총적층의 투수계수는  $3.39 \times 10^{-3}$ 에서  $3.83 \times 10^{-3}$ 으로 조금 부족한 투수계수로 측정됨
- 그러나 연암층은  $2.17 \times 10^{-3}$ 에서  $5.22 \times 10^{-3}$ 로 측정되어 총적대수층과 연암층을 이용할 경우 계간축열(ATES)공법 적용이 가능할 것으로 판단됨
- 실증지의 보다 정밀한 수리지질학적 특성을 조사하기 위해 12월 중순에 시험정 구축 및 양수-수입시험을 실시할 예정임

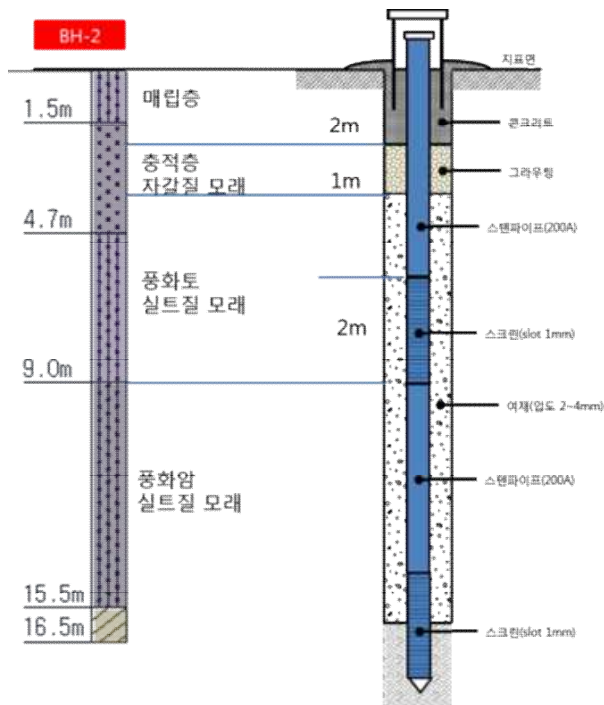


(가)



(나)

그림 2-3-3-5. 실증처 시추조사 위치 및 지층단면도: (가) 시추조사 위치도, (나) 지층단면도



- 총적층 굴착 심도 : 20 m내외
- 굴착 관경 : Ø400 mm
  - 지하수개발 장비(천공기)
- 케이싱 설치
  - 재질 : 스테인리스 파이프
  - 내부케이싱 Ø200 mm
  - 외부케이싱 Ø400 mm
- 스크린 설치
  - 스테인리스(와이어 스크린)
  - 관경 : Ø200 mm
  - 설치 길이 : 2 m~4 m
  - SLOT : 1 mm
- 여재설치
  - 입도 : 2 mm~5 mm
  - 설치 두께 : 100 mm
  - 설치 길이 : 17 m

그림 2-3-3-6. 총적대수층 지열정(집수-함양) 개략도 및 설치사양

#### (4) 총적대수층 지열정(집수/함양) 설계

##### ① 지열정 개념 설계

- 본 계간축열(ATES) 시스템의 지열정 설계는 단일공에서 500 ton/day의 지하수를 양수하는 관정개발을 목적함
- 실증지 수리지질학적 특성조사에서 조사된 지층구조를 중심으로 주입과 양수성을 최적화할 목적으로 스크린 설치를 2단으로 구성하여 주입시 상부스크린을 양수시 하부스크린을 주대수층으로 선정하여 개념설계 함
- 본 개념설계를 검토하기 위해 12월에 시험정을 구축하고, 양수시험과 주입시험을 진행할 예정임
- 시험정의 개략도 및 설치사양은 아래 그림 2-3-3-6.과 같음

##### ② 정밀설계 추진일정

- 시험정 설치 및 대수성시험을 진행(단일 지열공의 적정 양수 및 주입량)
- 대상부지를 대상으로 지열정의 위치설정
- 부하량에 따른 계간축열(ATES) 시스템의 공급용량 비율결정(수열, 바이오 고려)
- 선정 용량에 따라 관정 내부시설 및 배관 설계
- 각 열원(계간축열, 수열, 바이오)을 융합한 운전방법 결정 및 효율성 향상 방향 모색



(5) 시설원에 계간축열(ATES) 시스템 설계

① 실증처(전북 완주군, 성원flower) 용량 설계(안)

구분	내용	단위	비고
적용 면적	1,050	평	0.3 ha
냉난방 용량	ATES 100 RT	급	
지열원 용량	38	ton/h	열교환 온도 8 ℃ 기준
ATES 지열정(2공 1set)	2	set	총 4공(양수2공/주입2공)
열원	ATES + 수열(냉방) ATES + 바이오(난방)	-	열에너지 공급방법

② 계간축열(ATES) 시스템 배치 위치도

- 지열정은 온실을 중심으로 북쪽과 남쪽에 각 2공씩 구축하여 대수성시험 결과를 반영하여 온수정 및 냉수정으로 구분하여 운전함
- 냉·온수정의 이격거리는 약 80 m로 충분한 공간확보가 가능함
- 냉난방운전 조건에 따라 운전기간, 설정온도, 최대부하량 등을 고려하여 축냉, 축열 지역 결정

③ 계간축열(ATES) 시스템 운전방법(안)

- 계간축열 냉난방시스템은 지중에 열에너지 저장하고 이용하는 방법에 따라 효율을 극대화 할 수 있음
- 히트펌프 성능향상 방법: 지중에 저장된 에너지를 이용하여 히트펌프의 효율성 증대



그림 2-3-3-7. ATES시스템 배치 위치도

- 저장된 에너지를 직접이용 방법: 난방운전시 지중에 저장된 지열에너지를 직접 부하측(건물, 온실)로 공급
- 일반적인 축적대수층의 지하수는 14~15 °C의 온도범위를 일정하게 유지하므로 계간축열(ATES) 냉난방시스템은 일정한 온도범위의 지하수를 이용하여 열교환을 통해 열에너지를 공급함
- 열교환으로 인해 변화된 온도의 폐열수를 지중에 주입하여 축냉 및 축열 과정을 통해 에너지를 지중에 저장하며 저장된 지중열에너지를 열원수로 이용하는 효율성을 극대화하는 냉난방시스템임
- 히트펌프 성능향상 방법의 난방 및 냉방운전은 아래와 같이 난방 열원수(14 °C 지하수)를 히트펌프로 공급하고 열교환이 끝난 폐열수(6 °C 지하수)를 지중에 저장한 후 저장된 냉방 열원수(6→14 °C)를 히트펌프로 공급하고 다시 지중에 저장(14→22 °C)하는 방법으로 운전함
  - 난방(첫해)
    - 14 °C 열원수 공급 → 8 °C 열교환하여 히트펌프로 열에너지공급 → 6 °C 지하수 주입으로 축냉
  - 냉방(첫해)
    - 6 °C로 저장된 열원수 공급 → 8 °C 열교환하여 히트펌프로 열에너지공급 → 14 °C 지하수 주입으로 축열
  - 저장된 열에너지 소비(6 °C → 14 °C) → 8 °C 열교환하여 히트펌프로 열에너지공급 → 22 °C 지하수 주입으로 축열
  - 난방
    - 22 °C로 저장된 열원수 공급 → 8 °C 열교환하여 히트펌프로 열에너지공급 → 14 °C 지하수 주입으로 축냉
  - 저장된 열에너지 소비(22 °C → 14 °C) → 8 °C 열교환하여 히트펌프로 열에너지공급 → 6 °C 지하수 주입으로 축냉
  - 동일한 열흐름 운전방법으로 냉방, 난방운전 반복
- 이러한 운전방법은 기존 지하수 온도 14 °C 보다 8 °C 유리한 지열원수를 공급함으로써 시스템의 효율성을 향상시킴
- 본 과제에서는 히트펌프 성능향상 방법보다 효율성이 우수한 직접 이용 방법을 적용하고자 함
  - 직접 이용 방법은 냉수정에 냉열에너지가 저장된 상태에서 운전할 수 있음
  - 지중에 저장된 냉열에너지(6 °C 지하수)를 부하측(건물, 온실)에 직접 공급하는 방식으로 히트펌프 운전 없이 10 °C 이하의 냉열을 부하측으로 공급함
  - 이러한 방법의 냉방운전은 수중모터펌프에서 사용되는 전기에너지를 소비하여 히트펌프보다 우수한 냉방에너지를 공급할 수 있음
  - 따라서 난방 및 냉방운전의 기간이 동일하여 에너지를 저장하고, 소비할 수 있는 운전설계가 가능할 경우에 가장 효율적인 냉난방시스템 운전이 가능함
  - 냉난방운전 기간이 불균형적인 경우 저장된 에너지를 모두 소비하지 못하거나 부족한 문제가 발생함
  - 이러한 문제를 해결하기 위해서는 냉방소비 열량과 난방소비 열량을 최대한 동일하게 운전할 방법 고안이 중요함
- 저장된 지열에너지 직접 이용 방법은 그림 2-3-3-8.과 같이 첫해 난방을 시작으로 냉난방운전을 통한 에너지 소비와 저장에 대한 열이용 방법을 나타냄
  - 첫해 난방운전: 지하수(14 °C)를 열원으로 이용 → 열교환수(6 °C)를 냉수정에 주입하여 저장

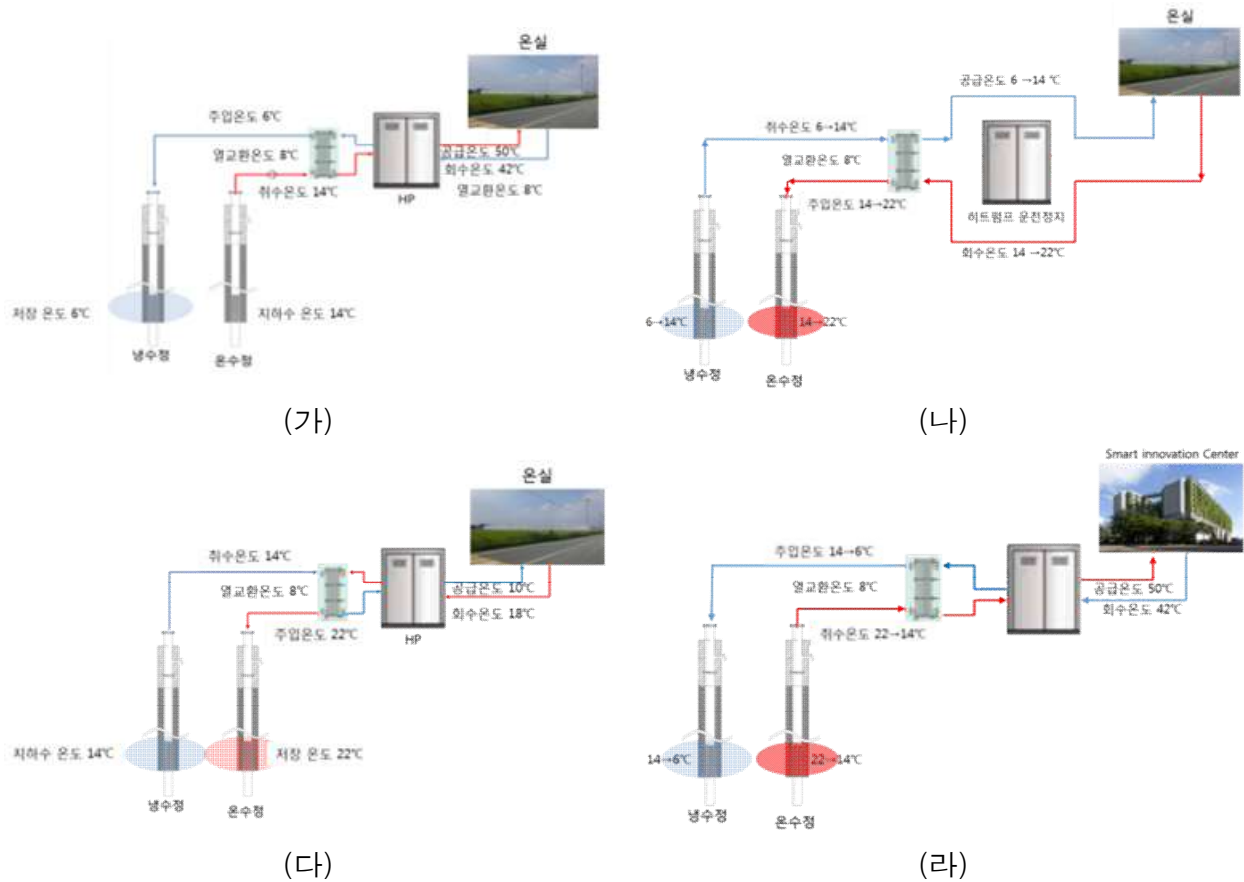


그림 2-3-3-8. 냉난방운전 개념도: (가) 난방운전, (나) 냉방운전(직접이용방법), (다) 냉방운전, (라) 난방운전(히트펌프 효율향상)

- 첫째 냉방운전(저장된 지열에너지 직접이용)
- 저장된 지하수(6 °C)를 열원으로 이용 → 열교환수(14 °C)를 온수정에 주입하여 저장
- 저장된 에너지 소비(6 °C→14 °C) → 열교환수(14 °C→22 °C)를 온수정에 주입하여 저장
- 지하수(14 °C)를 열원으로 이용 → 열교환수(22 °C)를 온수정에 주입하여 저장
- 난방운전(히트펌프 운전):
- 저장된 지하수(22 °C)를 열원으로 이용 → 열교환수(14 °C)를 냉수정에 주입하여 저장
- 저장된 에너지 소비(22 °C→14 °C) → 열교환수(14 °C→6 °C)를 냉수정에 주입하여 저장
- 지하수(14 °C)를 열원으로 이용 → 열교환수(6 °C)를 냉수정에 주입하여 저장
- 이후 냉난방운전 동일함

[협동기관] (주)센도리 (기관별 핵심성과 위주 5쪽 이내 작성)

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표		연구개발 수행내용	연구결과
1단계 1차 년도 (2020)	융복합 재생에너지 인증 히트펌프 시스템 개발 및 구축	수열시 스템 적용 조사 및 분석	대수층/하천수 열환경 및 시설하우스 조사	○국내 대수층 계간축열 및 하천수 열환경 및 시 설하우스 11 sites 조사	○전북 완주군 봉동읍 장 기리 1177-17, 사이트 잠정 확정(2020.11.16)
			취수용 열교환기를 위한 수질개선장치 등 조사	○수질개선장치 조사 ○배관 스케일 예방 기술 조사 ○배관 내부식성 향상 기 술 조사	○취수용 열교환기 및 수 질개선장치 조사결과
			운전환경 주변 검토	○하천수 환경 조사 ○지하수 환경 조사	○하천 종류, 연중 수온, 수량 등
		시설원 에 융복합 신재생 에너지 설비 설계	히트펌프 열성능 해석 및 기초설계를 위한 가이드 도출 및 융복합 신재생에너지 설비 설계	○총적대수층 수온 조사 분석에 따른 히트펌프 성능 데이터 확보 ○하천수 수온 조사에 따 른 히트펌프 성능 해석 ○총적대수층과 하천수 수 온에 적합한 설계안 가 이드 제시	○히트펌프 기초설계 안
		적합한 수여과기 및 열교환기 시스템 개발(이물질 방지)	○실증지 지하수 및 하천 수 수질 분석 ○수여과 열교환 시스템 개발	○자동 스트레이너 설계 ○수여과 열교환 시스템 설계도	
운전환경 검토를 기반으로 관로 설계 및 공사		○관로 설계 (추진 중) ○관로 공사 (추진 중)	○관로 설계도 ○관로		

(1) 대수층/하천수 열환경 및 시설하우스 조사

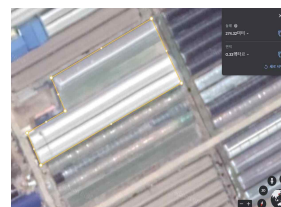
- ① 국내 대수층 계간축열 및 하천수 열환경 및 시설하우스 11 sites 조사  
(그림 2-3-4-1. 및 표 2-3-4-1. 참고)



(가)



(나)



(다)

그림 2-3-4-1. 실증 예정지(전북 완주 화훼시설): (가) 시설외부, (나) 시설내부, (다) 시설면적 (0.33 ha)

표 2-3-4-1. 국내 대수층 계간축열 및 하천수 열환경 및 시설하우스 조사 요약

농장주 또는 농업법인	작물	위치	시설형태 (면적, ha)	하천수 조건	적합성 조건
청운플라워	백합	전북 완주	비닐온실 (0.3 이상)	온실주변 하천수 공급가능	작물, 하우스, 하천수 조건 양호
삼진스마트	장미	광주 북구	비닐온실 (0.3 이상)	영산강변 하천수 공급우수	작물, 하우스, 하천수 조건 양호, 총적 대수층 부족
조희진	한라봉	전남 담양	비닐온실 (0.3)	온실주변 하천수 공급가능	장미재배 아님, 총적 대수층 미흡
달향	방울 토마토	전남 고흥	유리온실 (2.0)	온실주변 하천수 공급가능	신규온실 건축 중, 장미재배 아님, 0.3 ha 크기로 분할 어려움
문민호	파프 리카	전남 화순	비닐온실 (0.3 이상)	온실주변 하천수 공급가능	장미재배 아님, 총적 대수층 미조사
김면종	오이	충남 부여	비닐온실 (0.5)	주변 금강 강물 공급 허가검토 필요	장미재배 아님, 총적 대수층 양호
부전농장	장미	전북 김제	비닐온실 (0.9)	소형 저수지 물 공급가능	하우스 크기가 부적합, 겨울철 저수지 수위유지 재검토 필요
리디아 장미농원	장미	광주 광산구	비닐온실 (0.25)	겨울철 하천수 부족	하우스 크기 적음, 사계절 하천수 확보 어려움
코인팜	토마토	전남 담양	비닐온실 (0.3)	주변 하천수 공급양호	장미재배 아님, 총적대수층 미조사
땅심화훼	장미	전남 강진	비닐온실 (0.25)	주변 하천수 공급가능	0.25 ha 이하 필지 단위 하우스, 총적대수층 미조사
이현	장미	전남 강진	비닐온실 (0.3)	주변 하천수 공급가능(양호)	0.3 ha 이하 단위 하우스, 총적대수층 필요, 유관조건 양호

**(2) 취수용 열교환기 용수질 개선장치 조사**

① 수질개선: 스트레이너 (금속 망 여과기)

- 하천수가 스트레이너 입구를 통해 필터로 들어가 스트레이너를 거치면서 출구로 흐르는 구조로서, 스트레이너가 불순물을 포착 한 후 미리 설정된 시간 또는 차압 값에 의해 세척 작업을 하는 자동세정 장치와 연계할 수 있음

② 배관 스케일 예방: 수열취수 열교환기 전처리시스템 개발 기술

- 정전기효과와 희생 양극법을 활용하여 배관 스케일 예방 (워터웨이, 2009)
- 수중 마찰력 이용 내부 정전기 발생을 통해 수분이온화 및 스케일 억제 (IOREX, 2013)

③ 배관 내부식성 향상(표면개질): 코팅재를 적용하는 기술 (오염물질 저부착 기술)

- 내황산 및 내염산을 포함하는 내부식성 금속 제작 기술 개발 (포스코, 2009)
- 열교환 소자에 고온 내산성 코팅재의 적용을 통해 부식 방지 및 내구성 향상 (필스톤, 2017)

**(3) 운전환경 주변검토**

① 하천수 조사 (다음 장 그림 2-3-4-2. 참고)

- 하천 명칭과 분류: 우산천 및 소하천 (vs. 국가하천, 지방하천)
- 하천에서 실증지까지 거리: 약 530 m
- 하천수 수온: 동절기 3 °C~16 °C, 하절기 22 °C~28 °C





그림 2-3-4-2. 하천으로부터 실증지까지 거리: 532 m(좌), 하천너비: 19 m~29 m(우)

② 하천수 조사결과 (아래 그림 2-3-4-3. 참고)

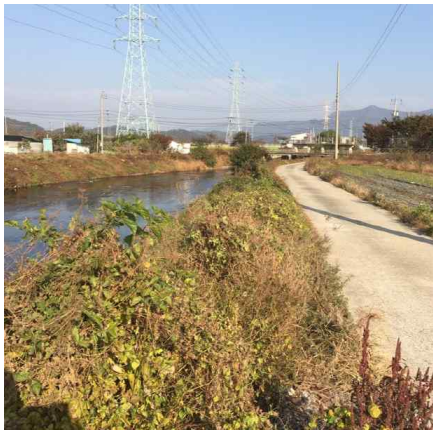
**(4) 히트펌프 열성능 해석 및 기초설계 가이드 (다음 장 그림 2-3-4-4. 및 5. 참고)**

① 하천수 수온 조사에 따른 히트펌프 성능 해석

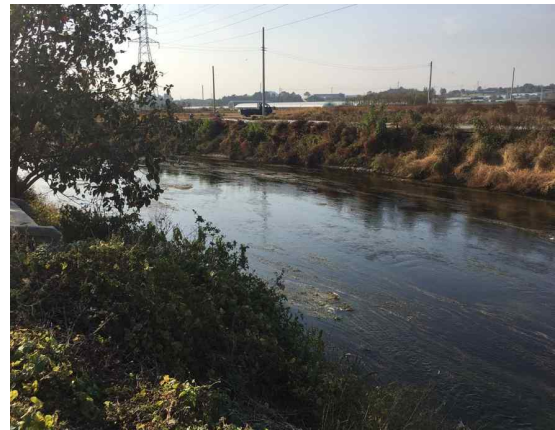
- 하천수 사계절 수온변화의 히트펌프성능 산출
- 하천수 재생에너지 사계절 수온조건 비교

② 하천수 수온에 적합한 설계안 가이드 제시

- 공기열 대비 수열의 지중수열과 하천수의 성능 차이에 따른 용량선정 검토
- 히트펌프 성능에 최적화한 배관설비 및 부하측 설계



(가)



(나)



(다)



(라)

그림 2-3-4-3. 주변 하천: (가) 을소리→장거리, (나) 장거리→구미리, (다) 수로 입구, (라) 수로

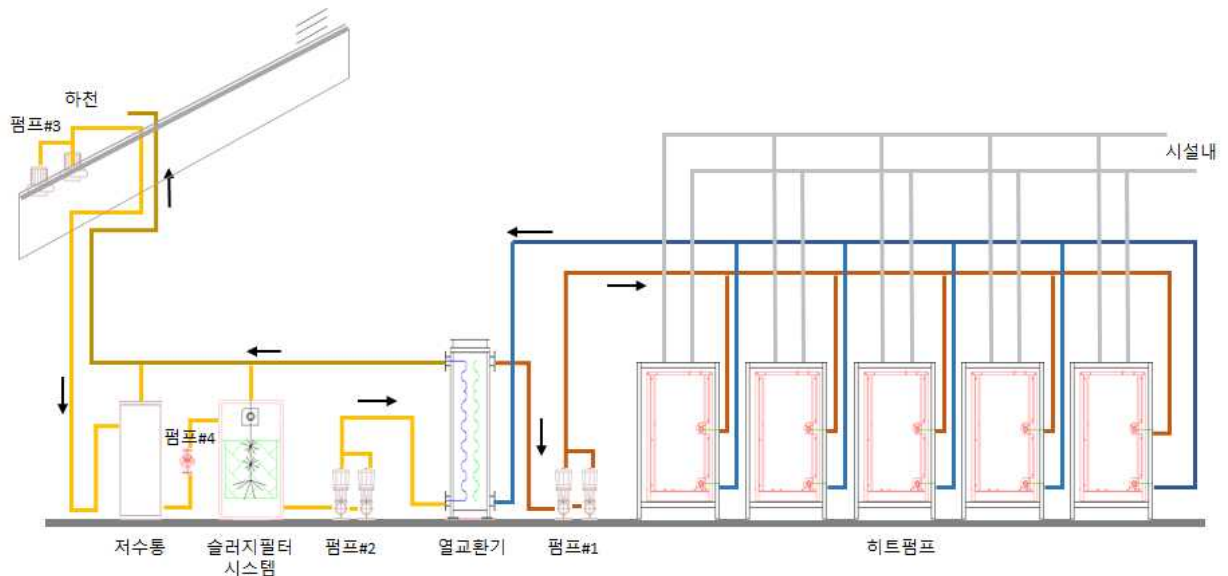


그림 2-3-4-4. 하천수 활용 히트펌프 시스템 개념도

(5) 적합한 수여과기 및 열교환 시스템 개발

① 하천수 수질분석 추진 중 (2020년11월20일 기준) (아래 표 2-3-4-2. 참고)

구분	장비번호/수량	성능				소비전력, 소비유량		
히트펌프(실외)	HP_#	냉방(kW)	난방(kW)	유량(LPM)/ 배관경(A)	온도(°C)	냉방(kW)	난방(kW)	최대(kW)
	5	73.6 (20.9RT)	77.3	230 / 50	냉수15/온수15	11.3	13.9	31.6
열교환기	HE_#	냉방용량 (Kcal/hr)	난방용량 (Kcal/hr)	최대유속 (m3/h)	최소/최대 플레이트수	-	-	-
	1	320,000 (105.6RT)	332,390	120	10 / 270	-	-	-
슬러지필터	-	유량(LPM)	부하유량(LPM)	배관 폐수(A)	배관 부하(A)	-	-	압력손실 (mAc)
	1	190	150	입120/출120	입120/출120	-	-	3.0
펌프		유량(L/min)	양정(m)	용도		동력(kW)	-	-
	#1 (2)	2,070	25	히트펌프 순환펌프 (예비 1대)		18.5	18.5	-
	#2 (2)	2,190	27	열교환 순환펌프 (예비 1대)		18.5	18.5	-
	#3 (2)	250	9	하천수 수중펌프 (예비 1대)		5.5	5.5	-
	#4 (1)	20	50	슬러지시스템 순환펌프		1.5	1.5	-

100RT = 357kW = 307,142kcal/h

그림 2-3-4-5. 히트펌프 시스템 설계(안)

표 2-3-4-2. 하천수 수질분석 결과 (~2020년12월30일 일요일)

시험항목	단위	기준치	측정치	시험항목	단위	기준치	측정치
pH	-	6.0~8.0		칼슘경도	mg/L	50 이하	
전기전도율	μS/cm	200 이하		탁도	도	5.0 이하	
염화물이온	mg/L	50 이하		철	mg/L	0.3 이하	
황산이온	mg/L	50 이하		암모늄이온	mg/L	0.2 이하	
산 소비량	mg/L	50 이하		이온상실리카	mg/L	10 이하	



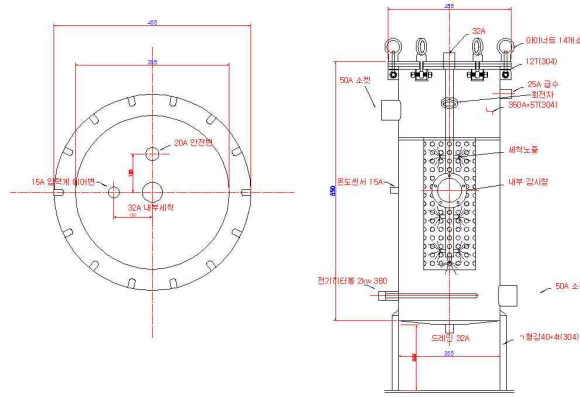


그림 2-3-4-6. 하천수 세정필터 설계(안)

② 수여과 열교환시스템 스트레이너 설계(안) (위 그림 2-3-4-6. 참고)

**(6) 운전환경 검토를 기반으로 관로 설계 및 공사 (아래 그림 2-3-4-7. 참고)**

① 하천수 공급 관로 설계: 2020년11월17일 ~ 2020년12월15일 (진행 중)

② 하천수 공급 관로 공사 현장: 2020년12월01일 ~ 2021년01월31일 (예정)

- 배관재: PE 관 (고밀도 폴리에틸렌을 주원료로 하여 산, 알칼리, 염분, 유류 등 어느 물질에도 내화학성이 뛰어나고 무거운 하중이 가해졌을 시 변형에 대한 복원력이 좋으며 지층의 부등침하나 지진 등 외부 충격에 파열되지 않으며 접합방법도 다양하여 시공성이 우수함)
- 배관구조: 이중벽관 (관 두께의 내부가 사각 Hole 구조를 형성하며 단면이 격자형중공 블록 형태의 I-beam 구조)



그림 2-3-4-7. 전라북도 완주군 봉동읍 장거리 1177-17 (하천-실증지 약 600 m 구간)



[협동기관] 숙명여자대학교 (기관별 핵심성과 위주 5쪽 이내 작성)

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용	연구결과
1단계 1차 년도 (2020)	저가형 온실 복합 열환경 정밀 모니터링 기술 연구	실증 대상 온실 적용 파일럿 시스템 설계 및 기초 테스트	○실증 온실 대상 정밀 센싱 모니터링 파일럿 시스템 상세 설계	○시스템 설계도 및 시제품(2020년12월 중 제작 완료)
			○이동형 센서 시스템 기반 열환경 모니터링 시스템 제작	○이동형 센서 시스템 시제품 제작 연동 모니터링 시스템 기초 설계
			○작물 중심 정밀 열환경 제어를 위한 실증현장 맞춤형 제어알고리즘 수립	○온실별 작물 맞춤형 제어알고리즘 수립을 위한 무빙센서 성능 테스트 시제품 제작
			○작물 중심 복합 열환경 정밀제어를 위한 열 환경 정밀 모니터링 시스템 구축 및 테스트	○실증 온실 선정 지연에 따른 수행 일정 조정
			○실증 조건에서의 문제점 파악 및 개선안 도출	

(1) 실증 온실 대상 정밀 센싱 모니터링 파일럿 시스템 설계 및 시제품 제작

① 모터 구동에 의한 센서 이송 모듈 시스템 기초 및 상세 설계

- 기존 복수의 무선 센서를 채용한 Multi-nodes 방식의 온실 열환경 정밀 센싱 기술은 고가의 무선센서 유닛 비용에 따라 충분한 정밀도를 확보하기 위한 설비비용의 증대로 인해 현장 적용에 어려움을 겪고 있음 (아래 그림 2-3-5-1. 및 2. 참고)

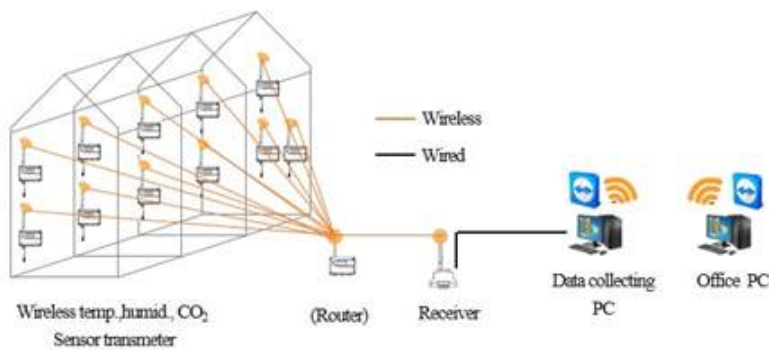


그림 2-3-5-1. Multi-sensing nodes 기반 온실 열환경 정밀 모니터링 시스템 개요도



그림 2-3-5-2. 이동형 센싱 로봇 기반 온실 열환경 정밀 모니터링 시스템 사례 (출처: SFS 융합연구사업단)



그림 2-3-5-3. 이동형 모듈 Prototype 기초 설계안

- 당해년도 연구에서는 이러한 선행 시장 및 기술환경을 극복할 수 있는 저가형 온실 복합 열 환경 정밀 모니터링 기술개발을 위해 실증온실 내 온도, 습도, CO<sub>2</sub> 농도 등 다양한 열 환경 변수에 대한 공간 및 시간 변동에 대해 모니터링이 가능한 이동형 정밀 온실 열 환경측정 모듈 시작품을 설계하고 시작품을 제작하여 실 온실 조건(실증 온실)에서의 적용 타당성 검토를 목표로 하였으며 이를 위해 여러 번의 설계 변경 과정을 거쳐 시작품 제작을 수행 (아래 그림 2-3-5-3. 및 4. 참고)



그림 2-3-5-4. 온실 열환경 정밀 측정 이송 모듈 시작품 설계 개요도

- ② 모터 구동에 의한 센서 이송 모듈 시스템 요소 모듈 및 시제품 제작 (아래 그림 2-3-5-5. 및 다음 장 그림 2-3-5-6. 참고)



그림 2-3-5-5. 모터 구동 센서 이송 모듈 시스템 요소 모듈 및 시제품 제작 전경

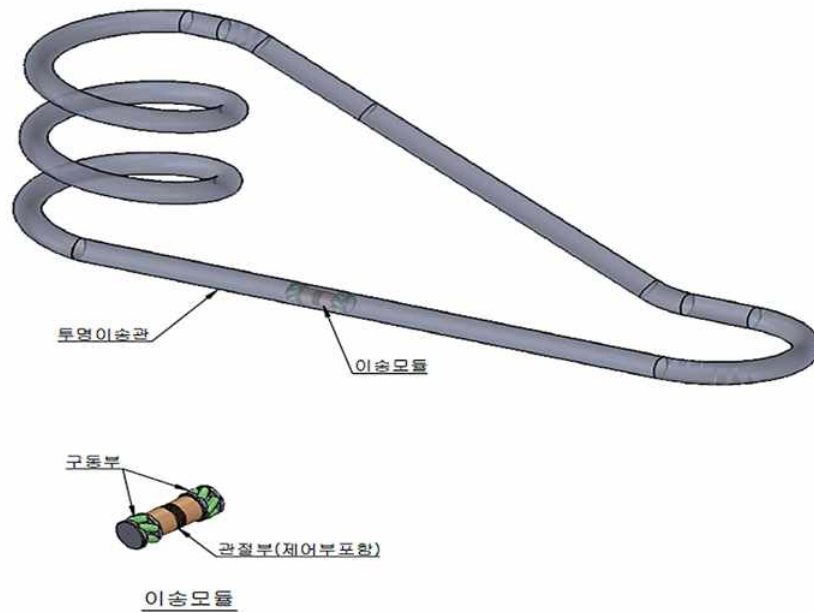


그림 2-3-5-6. 실증 온실 맞춤형 곡선구간 및 다층구조 이송모듈관 개요도

## (2) 이동형 센서 시스템 기반 열환경 모니터링 시스템 설계

- ① 작물 종류에 따른 이동형 센서 시스템 적용성 확보를 위한 곡선구간 및 다층구조 적용을 위한 이송모듈관 제작 시스템 설계 및 개발 (아래 그림 2-3-5-7. 참고)
  - 각 베드별 직선 이송모듈관 적용 기반 이동형 센서 시스템 시작품 제작
  - 실증 대상 온실 작물 재배 특성, 특히 키 높이가 높은 작물(예> 토마토, 파프리카 등)에 대한 정밀 열환경 모니터링 시스템 구축을 위해 곡선구간 및 다층구조로 구성된 이송모듈 시스템 구현을 위한 이송모듈관 제작 시스템 개발
  - 다양한 운전 조건(온실 내 온습도 포함)에서의 이송모듈 이송 성능 테스트를 위한 테스트 시스템 설계 및 제작 (2020년12월 중 제작 완료)

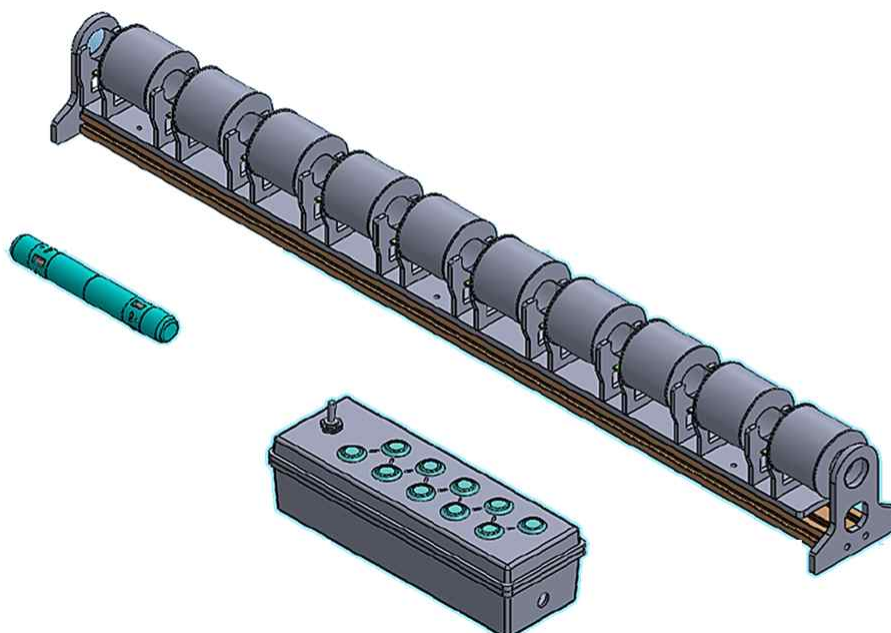


그림 2-3-5-7. 온실 환경 맞춤형 곡선 구간 및 다층구조 이송모듈 시스템 테스트 시스템 설계안



그림 2-3-5-8. 실증 대상 온실 내부 전경

- ② 실증 온실 유형에 따른 다양한 재배환경에서의 이송 모듈 제어특성 분석을 위한 무빙센서 성능 테스트 시작품 제작
- 온실 정밀 열환경 측정 모니터링 시스템 구축을 위한 정밀 제어에 따라 요구되는 다양한 설계 조건에 기반한 이송모듈 최적화를 위한 성능 테스트 장치 개발이 필요
  - 정밀 모니터링 센서 시스템 탑재에 따른 이송모듈의 이송성, 안정성, 내구성 등에 대한 성능테스트를 위한 성능 테스트 장치 설계 및 제작
  - 작물 중심 정밀 열환경 제어를 위한 실증현장 맞춤형 제어알고리즘 수립을 위한 기초 성능 데이터 측정을 위해 제작

### (3) 작물 중심 복합 열환경 정밀제어를 위한 열 환경 정밀 모니터링 시스템 구축

- ① 현장 실증 사이트 맞춤형 정밀 모니터링 시스템 기초 설계안 수립
- 현장 실증 사이트 선정 지연에 따른 열 환경 정밀 모니터링 시스템 구축 기본 방향 수립 (위 그림 2-3-5-8. 참고)
  - 시작품 제작이 진행 중인 센서 이송 모듈 시스템을 대상 작물인 화훼(백합)에 맞추어 현장 설비 및 시스템에 적합하도록 기초 설계를 진행
  - 단계로 1개 베드의 직선구간에 한해 이송 모듈관을 설치 후, 이송모듈의 이송에 따른 주행 및 환경 데이터 수신 성능을 테스트 추진
  - 작물 최 상단 전후와, 근권부와 작물 생육부 중간의 2개 지점에 대한 이송모듈관 설치 및 생육환경 모니터링 시스템 구축 예정



[협동기관] 전라북도농업기술원 (기관별 핵심성과 위주 5쪽 이내 작성)

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용	연구결과
1단계 1차 년도 (2020)	장미 생육 최적 환경 조건 설정 및 생산성 검정	최적 환경 조건 설정을 위한 시기별 기상환경과 생육 비교	○온실 간 일사량, 대기 온·습 도 비교 조사	○하계 냉방 온실에서 주야간 온도, 특히 야간에 대기과 근권 온도가 낮았음
			○온실 간 근권 온도 비교 조 사	
			○하절기 작물 생육 및 생산성 조사	○하계 냉방 온실에서 하절기 와 가을철 모두 생육이 우 수하여 수량과 품질도 우 수
			○가을철 작물 생육 및 생산성 조사	
			○자료 수집 및 문헌검색	○지상부보다 근권 난방이 유 리하며 20℃가 적절함 ○근권부에 공조 덕트 방식 유리

\* 세부 연구개발 수행 조건

(1) 시험 온실 : 2개소

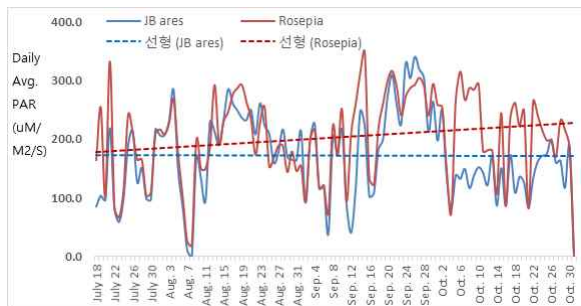
가. 농업회사법인 로즈피아(Rosepia) : 하계 냉방을 실시하는 장미 재배 유리 온실

나. 전북농업기술원(JB ares) : 하계 냉방을 실시하지 않은 장미 재배 유리 온실

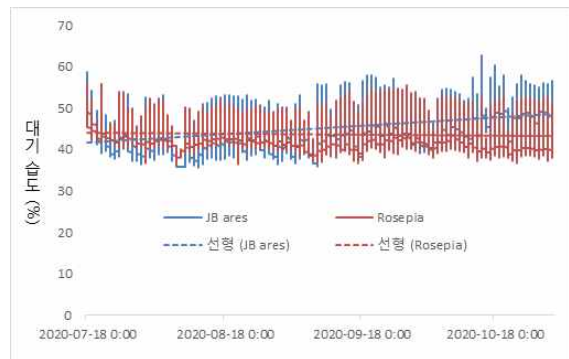
(2) 시험에 활용한 품종 : 2품종 <라온제나(스탠다드 계열), 라이징 스타(스프레이 계열)>

(1) 실증 온실 대기 온·습도 조사

- ① 일사량은 로즈피아에서 높게 관리되었고, 습도는 여름에는 로즈피아 9월 이후에는 기술원  
에서 높게 관리되었음 (아래 그림 2-3-6-1. 및 다음 장 그림 2-3-6-2. 참고)
- ② 냉방을 실시한 로즈피아에서 대기 온도가 낮았고 특히 여름철에 낮았으며, 야간기온이 낮  
았음
- ③ 로즈피아에서 고온기(2020년07월31일) 주·야간온도가 낮고, 저온기(2020년10월25일)에  
는 높게 관리되었음

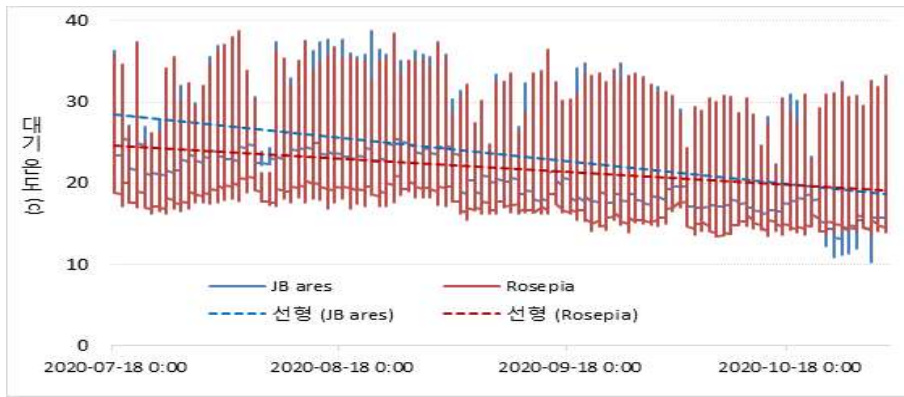


(가)

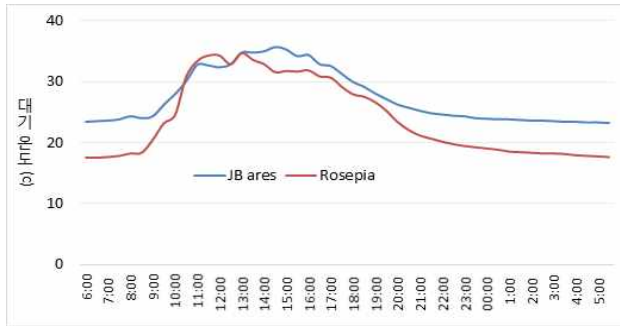


(나)

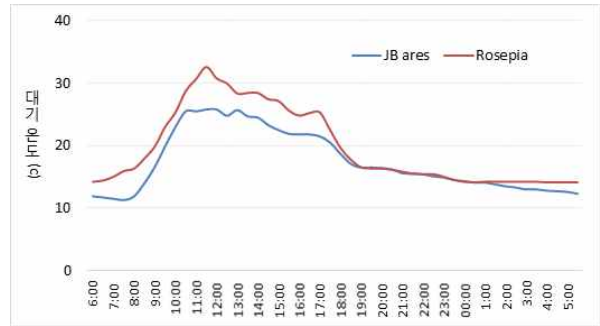
그림 2-3-6-1. 실증 온실 대기 온·습도 변화: (가) 일 평균 일사량, PAR(Photosynthetic Active Radiation), (나) 대기습도 변화



(가)

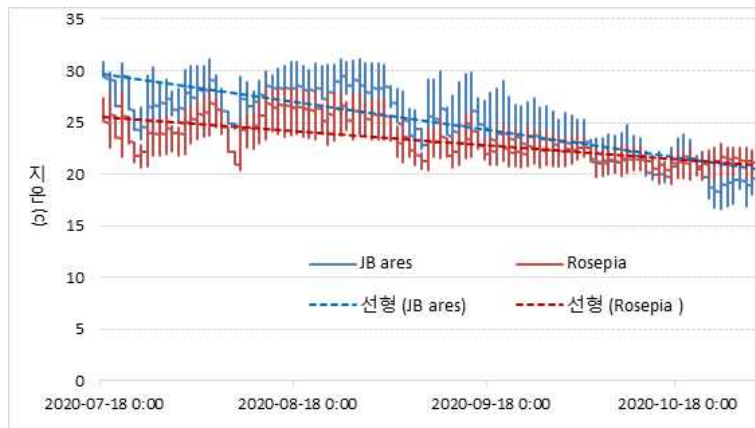


(나)

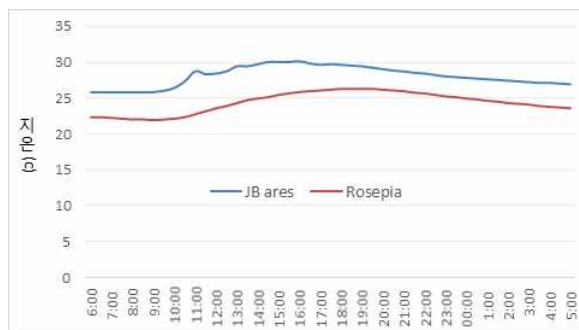


(다)

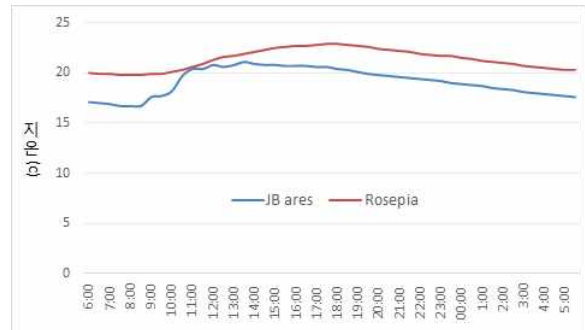
그림 2-3-6-2. (가) 실증 온실 시간대별 대기 온도 변화, (나) 2020년07월31일 대기 온도 변화, (다) 2020년10월25일 대기 온도 변화



(가)



(나)



(다)

그림 2-3-6-3. (가) 지온(인공배지 내부) 변화, (나) 2020년07월31일 지온 변화, (다) 2020년 10월25일 지온 변화



표 2-3-6-1. 하절기 라온제나 품종 개화 및 소화 특성

구 분	개화소 요일수	수 량 (줄기/주)	절화장 (cm)	줄기굵기 (mm)	절화중 (g)	화 폭 (mm)	화 고 (mm)	꽃잎수 (개/꽃)
로즈피아	35	2.5±0.8	60.7±3.0	7.3±0.3	34.0±5.5	8.5±0.4	3.5±0.2	139.7 ±20.9
농업기술원	31	3.0±0.8	47.9±2.4	5.5±0.3	16.1±2.3	6.8±0.6	2.6±0.2	145.5 ±21.4

표 2-3-6-2. 하절기 라이징스타 품종의 엽록소 형광 반응

구 분	Fo	Fm	Fm/Fo	Fv/Fo	Fv/Fm
로즈피아	12,195.7±1,142.6	36,867.3±3,085.7	3.08±0.13	2.08±0.13	0.67±0.01
농업기술원	12,040.5±1,355.9	40726.2±5,480.4	3.39±0.29	2.39±0.29	0.70±0.03

표 2-3-6-3. 하절기 라이징스타 품종 개화 및 소화 특성

구분	개화 소요일수	수 량 (줄기/주)	절화장 (cm)	줄기굵기 (mm)	절화중 (g)	소화수 (개/줄기)	화폭 (mm)	화고 (mm)
로즈피아	42	2.7±0.9	62.9±1.5	5.8±0.6	30.6±5.1	5.6±1.4	5.3±0.2	2.2±0.1
농업기술원	38	0.5±0.5	47.0±2.1	4.5±0.4	14.7±2.0	3.4±0.9	4.6±0.2	1.8±0.2

(2) 실증 온실 근권부 온도 변화 조사

- ① 대기 온도와 동일한 경향으로 로즈피아에서 고온기(2020년07월31일) 주·야간 지온이 낮고 저온기(2020년10월25일)에는 높게 관리되었음 (그림 2-3-6-3. 참고)

(3) 하절기 작물의 생육 및 생산성 평가

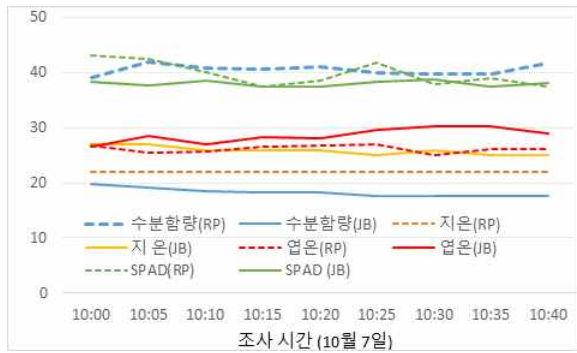
- ① 라온제나 품종 개화 및 소화 특성
  - 주야간 온도, 특히 야간온도가 낮은 로즈피아 온실에서 개화소요일수는 길지만, 수량과 품질이 우수함 (표 2-3-6-1. 참고)
- ② 라이징스타 품종의 엽록소 형광 반응 (조사일: 2020년08월 27일)
  - 스트레스와 연관 있는 Fo, Fm 및 Fv/Fm 값은 로즈피아 온실에서 낮았는데, 대기습도가 낮고 배지 수분함량이 높게 관리되었기 때문으로 판단 (표 2-3-6-2. 참고)
- ③ 라이징스타 품종 개화 및 소화 특성
  - 라온제나 품종과 동일한 경향으로 온도가 낮은 로즈피아 온실에서 개화소요일수는 길지만 수량과 품질이 우수 (표 2-3-6-3. 및 그림 2-3-6-4. 참고)



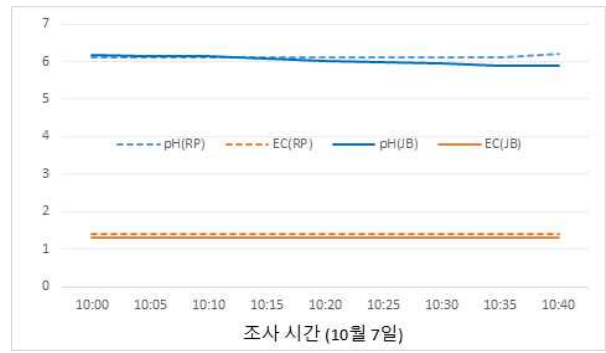
(가)

(나)

그림 2-3-6-4. (가) 라온제나 절화장과 꽃 크기 비교, (나) 라이징스타 절화장과 꽃 크기 비교



(가)



(나)

그림 2-3-6-5. 온실 지상 및 지하부 관리 상황 비교: (가) 수분함량 및 부위별 온도, (나) pH 및 EC

#### (4) 가을철 작물의 생육 및 생산성 평가

① 두 온실의 지하부 및 지상부 관리 상황 (조사일: 2020년10월07일)

- 로즈피아 온실에서 배지 수분함량은 높고 지온과 엽온이 낮으며, 양액 공급 EC는 높게 관리 (그림 2-3-6-5. 참고)

② 라온제나 품종 개화 및 소화 특성

- 하계 대기, 근권 온도가 낮고 10월에는 높은 로즈피아 온실에서 수량과 꽃 품질이 우수함 (표 2-3-6-4. 참고)

③ 라이징스타 품종 개화 및 소화 특성 (표 2-3-6-5. 참고)

- 라온제나와 동일한 경향으로 로즈피아 온실에서 개화소요일수는 길지만 수량과 꽃 품질이 우수함
- (결론) 하계 야간에 대기 온도를 20 °C 이하, 근권온도 20 °C 전후로 낮게 관리하고 양액공급 EC를 높여주면 생육 일수가 길어져 개화소요일수가 길어지지만, 수량과 꽃 품질이 우수해짐

#### (5) 자료 수집 및 문헌 탐색 (그림 2-3-6-6. 및 표 2-3-6-6. 참고)

① 주야간 평균온도를 낮게(21 °C) 관리하는 것이 절화 품질 향상에 유리하며, 특히 해진 후 4시간 동안 기온 19 °C 유지가 줄기 신장에 매우 중요함

표 2-3-6-4. 간절기 라온제나 품종 개화 및 소화 특성

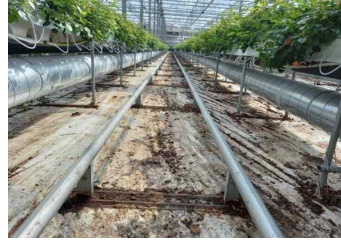
구 분	개화소요일수	수 량 (줄기/주)	절화장 (cm)	줄기굵기 (mm)	절화중 (g)	화폭 (mm)	화고 (mm)	꽃잎수 (개/꽃)
로즈피아	39	4.0±0.8	67.5±1.9	7.2±0.6	44.3±5.3	9.0±0.3	4.3±0.2	182.4±14.4
농업기술원	35	3.5±0.5	47.0±2.9	5.3±0.6	20.9±3.1	7.4±0.3	3.3±0.2	115.0±20.1

표 2-3-6-5. 간절기 라이징스타 품종 개화 및 소화 특성

구 분	개화소요일수	수 량 (줄기/주)	절화장 (cm)	줄기굵기 (mm)	절화중 (g)	소화수 (개/줄기)	화폭 (mm)	화고 (mm)
로즈피아	47	3.7±1.1	66.1±2.5	5.9±0.6	40.5±9.6	6.3±1.1	5.9±0.2	2.9±0.2
농업기술원	45	2.4±0.7	53.4±2.0	5.1±0.4	27.6±5.5	5.7±0.9	5.6±0.3	2.1±0.2



(가)



(나)



그림 2-3-6-6. 적정 냉난방 방법: (가) 로즈피아 온실, (나) 장수 화훼영농조합법인 온실

- ② 지상부 기온보다 지중, 즉 근권부 온도 관리가 절화 생산성과 품질 그리고 경제적인 측면에서도 훨씬 중요함 (근권부 적정 온도 20 °C ~ 25 °C, 20 °C에 근접함)
- ③ 장미는 호광성 작물로 적산 일사량이 중요하기 때문에 온도를 낮추고자 지나친 차광은 금물
- ④ 냉·난방 방법은 근권부 온도 관리가 중요할 뿐만 아니라 동화지 주변의 공기를 지속적으로 움직이게 하여 생육을 좋게 해줄 수 있는 베드 아래에 덕트를 설치하여 공조기를 통해 냉·난방하는 것이 효과적임 (문헌, 재배사 및 컨설턴트 의견)

표 2-3-6-6. 온실 생육환경 변화에 따른 작물생장에 미치는 영향 선행연구 분석

1. 논문제목	온도 환경에 따른 겨울철 장미 생육 및 생리 반응
출처/저자	한국원예과학기술지 18권 별2호(2000년)/김완순 등 4명(원예연구소)
주요내용	○ 온도 관리: (기온 난방) 10 °C, 14 °C, 18 °C, (지중 난방) 15 °C, 20 °C, 25 °C, 30 °C ○ 신초 발생과 성장 속도는 온도가 높을수록 빨라졌음. 주당 신초수, 절화 수량 등은 근권 온도의 영향이 커, 특히 20 °C ~ 25 °C에서 높았음. 절화장 60 cm 이상의 상품 수량은 14 °C/20 °C에서 가장 우수, 18 °C/20 °C, 18 °C 무처리 순이었음
2. 논문제목	하계 장미 근권온도가 장미 생육 및 개화에 미치는 영향
출처/저자	한국원예과학기술지 20권 별2호(2002년)/김원희 등 5명(원예연구소)
주요내용	○ 근권부 온도 20±2 °C와 방임구에 대한 하계 생육과 절화 품질 비교시, 근권부 20±2 °C 관리가 수확량은 4% 증가, 블라인드율은 4.1%로 1.9% 감소, 기형화 발생도 9.9%로 1.5% 감소 되었으며, 개화소요일수는 2일 정도 빨랐음.
3. 논문제목	근권온도에 따른 장미 뿌리의 생육 및 생리적 특성
출처/저자	한국원예과학기술지 18권 별2호(2000년)/김완순 등 4명(원예연구소)
주요내용	○ 근권온도(°C): 15, 20, 25, 30, 35 → 8주간 처리 ○ 광합성량은 15 °C ~ 25 °C에서 우수하고 30 °C 이상은 현저히 낮아짐 ○ 뿌리 활력은 20 °C 부근에서 높고, 양수분 흡수량, 줄기 Sap flow rate도 20 °C ~ 25 °C에서 높아, 적정 근권부 온도는 20 °C ~ 25 °C 범위, 20 °C에 더 근접함 ○ Root temperature effects on growth and bud break of Rosa hybrida in relation to cytokinin concentrations in xylem sap(Scientia Hort. 76:183-192, 1998)과 유사한 연구 결과
4. 논문제목	The effect of root temperature on rose plants in relation to air temperature
출처/저자	Plant & Soil 104, 93-98 (1987)/M. Zeroni & J. Gale
주요내용	○ 처리내용: 기온 17 °C 난방과 무가온, 21 °C 근권 난방과 무 난방 ○ 난방 온실에서의 근권 추가 난방으로 수량 및 절화 품질 향상되지 않음 ○ 지상부 온도 관리보다 근권부 온도 관리가 월등히 중요함 ; 지상부는 6 °C 이상이어야 하며, 근권은 20 °C 정도가 적절

2-4. (1단계 2차년도) 연구수행과정 및 내용 (2021년 수행)

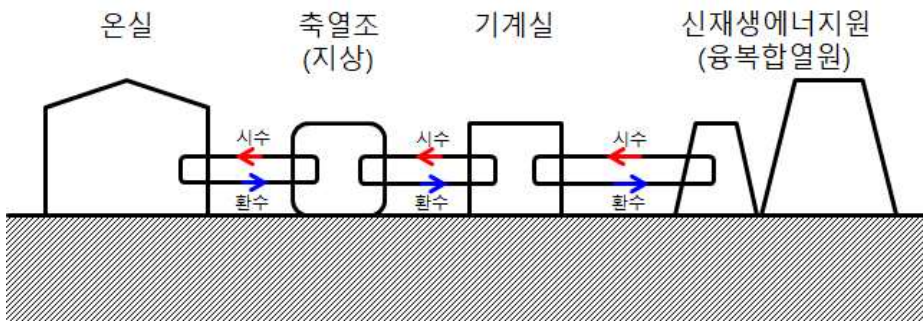
[주관기관] 한국에너지기술연구원 (기관별 핵심성과 위주 10쪽 이내 작성)

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용	연구결과
1단계 2차 년도 (2021)	바이오설비 융복합 온실 에너지 관리 실증모델 개발	바이오(목재펠릿보일러) 열에너지 공급 및 에너지관리 설비 구축	○융복합 에너지 관리 시스템 설계	○ATES, 수열, 바이오설비 연계 제어로 직 개념설계안 제시 및 특허출원
			○목재펠릿보일러 보조 열원 융복합	○KS인증 바이오 열설비 융합 기술개발 및 기계실 내 구축
			○온실공조 개념설계 및 설비구축	○전산유체역학 기반 온실공조방식 개념 설계 및 실증온실 공조기 설치
			○온실 내외부 열환경 모니터링 시스템 구축	○온습도, 기상, 전력계측 시스템 구축
			○온실 내외부 열환경 및 에너지 흐름 모니터링	

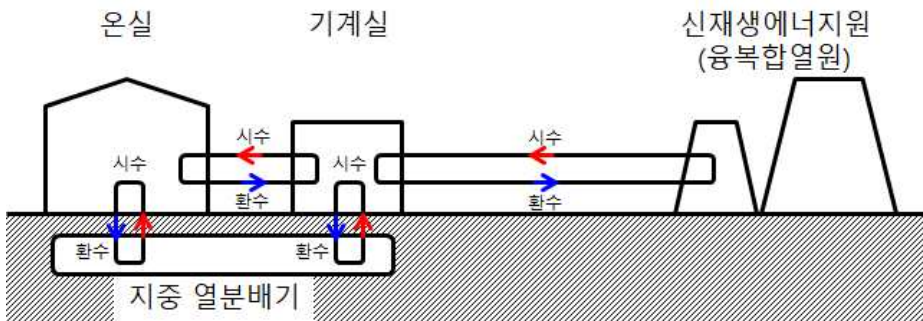
(1) 융복합 에너지 관리시스템 설계 및 구축

① 융복합 에너지 공급시스템 개념설계

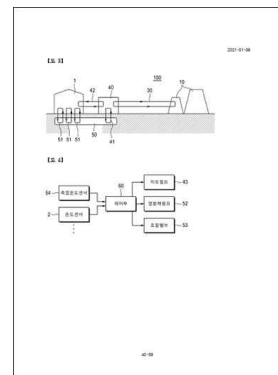
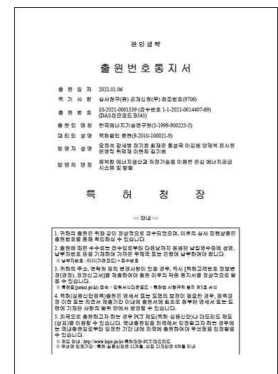
- (에너지 공급 시스템: 기존방식) 원예시설에서의 에너지 이용은 변화하는 기후환경 속에서 주로 작물생육에 적절한 환경을 제공하기 위하여 열과 빛, 물 공급과 관련된 설비들을 구동하는 방식으로 에너지 수요처로서 각 변환 및 전달 과정이 직렬로 연결되어 있음 (아래 그림 2-4-1-1. (가) 참고)



(가)



(나)



(다)

그림 2-4-1-1. 재생에너지원 기반 융복합 에너지 관리 시스템 개념: (가) 기존 온실 에너지 공급 방식, (나) 지중 분배기 개념이 적용된 신규 온실 에너지 공급 제안(안), (다) 지중 열분배기를 특징으로 하는 에너지 공급시스템 국내특허 출원증 (2021년01월06일 수요일)



- **(에너지 공급 시스템: 신규제안)** 향후 기후변화에 따른 탄소중립 기조에 대응하기 위해서는 에너지 소비자가 단순히 에너지네트워크상에서의 중앙 집중화된 거대 에너지 공급사업자가 제공하는 에너지를 이용만하는 것이 아니라 마이크로 그리드 형태로 에너지 협동조합을 구성하여 생산 및 거래에도 적극적으로 참여하는 똑똑한 소비자로서의 역할을 할 것으로 예상됨에 따라 원예시설에서도 다양한 신재생에너지를 활용할 수 있는 에너지 이용 구조가 필요함
- 본 과제에서 제안하고자하는 원예시설 에너지공급 방법은 융복합 신재생에너지원에서 생산되는 열에너지를 융합하여 원예시설에 안정적으로 공급하는 방법에 관한 것으로써 기존 직렬연결 방식에 비해 병렬방식을 채용함으로써 다양한 조합의 에너지 네트워크가 가능한 장점이 있음 (위 그림 2-4-1-1. (나) 참고)
- 신규 제안 에너지 관리시스템 개념도에서 보듯 지역별, 기후조건별 등에 따른 다양한 신재생 및 미활용에너지원 조합에서 온열 또는 냉열에너지를 생산하고,

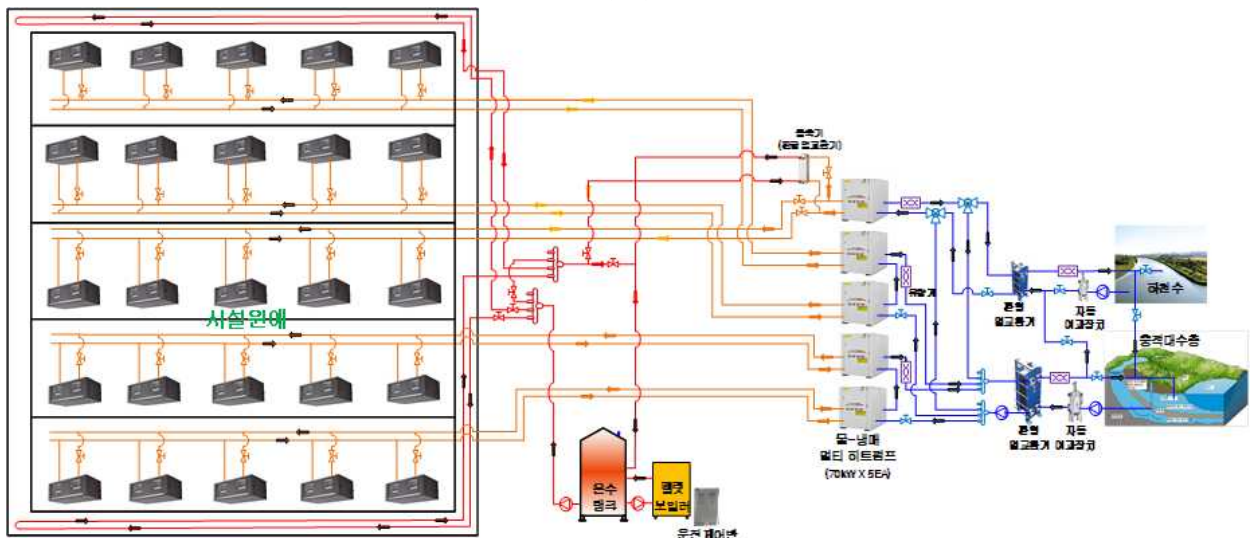
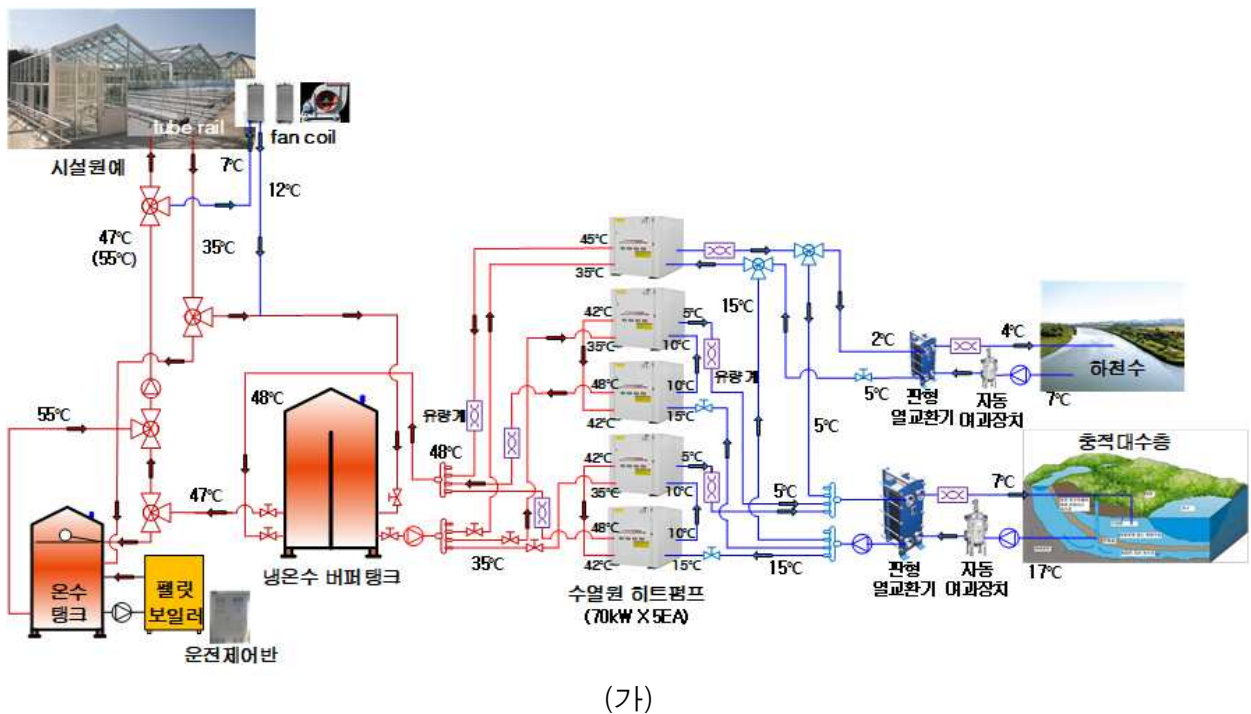


그림 2-4-1-2. 대수층 계간축열(ATES), 수열에너지, 바이오설비 융복합 에너지 제어 시스템 개념: (가) 스마트펌프 융복합 에너지 시스템 열공급 온도 설정 설계 기준(안), (나) 물-냉매 멀티 히트펌프 시스템 개념설계(안)



- 이를 에너지 공급과 생산에 있어서 발생할 수 있는 수요와 공급에서의 불균형을 완충할 수 있는 지중분배관으로 이송 및 저장하여 온실에 안정적으로 냉온열에너지를 공급할 수 있는 특징이 있음
- 이를 통해 기계실내의 다양한 열원(히트펌프, 보일러 등)에서 나오는 열원을 복합적으로 온실 열공급 및 제어할 수 있고 온실 (벽면에서의 열손실 등) 국소적인 온도차에 따른 생육환경 조건을 균일하게 보정할 수 있음
- 또한 잉여열을 저장 또는 활용함으로써 보다 효과적인 온실 에너지관리가 가능해짐
- 이러한 상기 신개념 에너지 공급, 제어 및 관리 기술개념은 올 초(2021년01월06일) 국내 특허출원하였음

② 융복합 에너지 제어시스템 개념설계

- **(시스템 열공급 온도 설계)** 본 과제에서 제안한 재생에너지원(대수층 계간축열, 수열히트펌프, 목재펠릿보일러)을 효과적으로 융복합하기 위하여 에너지 생산, 변환, 수요처에서의 각 조건들에 대한 검토를 진행하였음
- 에너지 생산지인 대수층 및 하천수에서 온도가 7~17 °C 범위인 경우 열교환기에서의 전열온도차가 2 °C 이내로 가정할 때 성능지수(COP) 약 4인 20 RT급 압축식 히트펌프를 구동하면 15 °C의 열교환기 시수는 10 °C로 낮아져 다음 단계의 히트펌프로 거치면서 5 °C의 환수가 되어 열교환기로 들어감
- 온실 실내 공조기 출구에서 공기 온도를 약 40 °C로 설정하면 공조기로 공급되는 물 온도는 약 55~60 °C 범위 내에서 운전하고 온실 열교환을 마치고 히트펌프로 들어가는 물 냉매 온도는 약 35 °C가 될 것으로 가정하였음
- 35 °C인 물 냉매는 각 히트펌프를 거치면서 6~7 °C 정도 승온되어 48 °C의 시수가 되고 보조 온열 공급설비인 목재펠릿보일러의 도움을 받아 약 55~60 °C의 시수로 온실에 공급가능 할 것으로 예상함 (위 그림 2-4-1-2. (가) 참고)

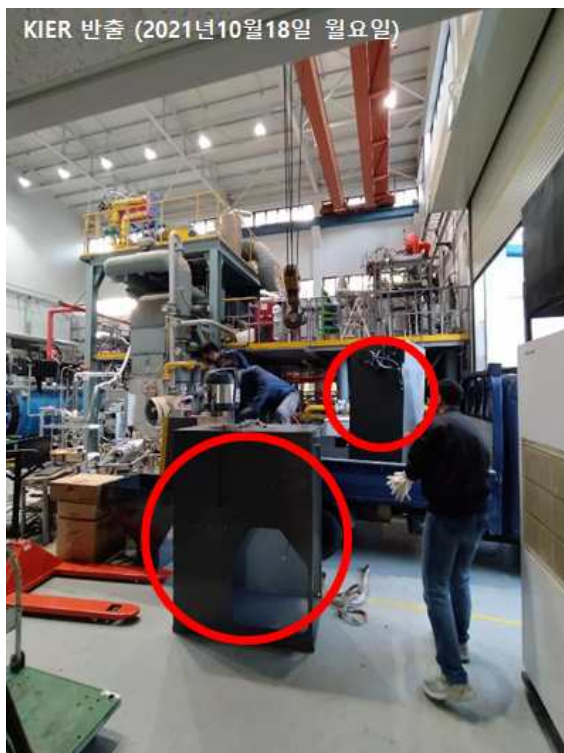


그림 2-4-1-3. 53 kW<sub>th</sub>급(약 20 RT 상응) KS인증 바이오 설비(목재펠릿보일러) 한국에너지기술연구원 시험성적서 발급 후 반출, 이송 및 신규 구축한 실증온실(전북 완주 청운flower) 기계실 내부 설치

- **(무축열조 물-냉매 멀티 히트펌프 시스템 설계)** 당초 물 냉매를 이용한 온실 공조 시스템을 구성하려 하였으나 100 RT급의 히트펌프 시스템을 사용할 경우 약 100 ton-H<sub>2</sub>O 규모의 축열조가 필요하고 이는 추가적인 온실 부지(약 5×5×5 m<sup>3</sup>)가 필요하므로 건물냉난방 시스템에서 검증된 HFC 냉매방식의 무축열조 공조시스템을 설치하기로 결정함
- 무축열조 공조방식을 적용한 온실 융복합 재생에너지 공급 및 제어시스템을 개념설계(안)을 위 그림 2-4-1-2. (나)에 나타내었음

③ 바이오 열설비 기계실 구축

- 1단계 1차년에 성능 평가후 시험성적서를 발급(2020년09월22일)한 한국에너지공단 KS 신재생에너지설비 인증제품인 53 kW<sub>th</sub>급의 목재펠릿보일러를 2021년10월19일 공인시험성적서 발급기관인 한국에너지기술연구원에서 실증온실인 전라북도 완주군 장기리 1187 소재 청운flower 기계실에 반입하였음 (위 그림 2-4-1-3. 참고)
- 바이오설비인 목재펠릿보일러는 난방시 보조부하열원으로 사용하기 위한 것으로 동계 추가적인 난방부하가 필요할 때 히트펌프 출수온도 약 48 °C를 55~60 °C 내외로 승온하여 온실 내부 양 벽면에 설치된 복사난방 배관으로 공급함으로써 온도손실 및 온도편차를 줄여 생육환경을 균일하게 하는 역할을 수행함

(2) 온실공조 개념설계 및 설비구축

① 온실 공조방식 개념설계

- **(원예시설 공조방식 변화)** 작물의 생산량과 품질을 높이기 위해 노지에서 경작방식이 가림막 방식에 이어 반밀폐형 시설 중 하나인 플라스틱 또는 유리온실로 진화하였으며,

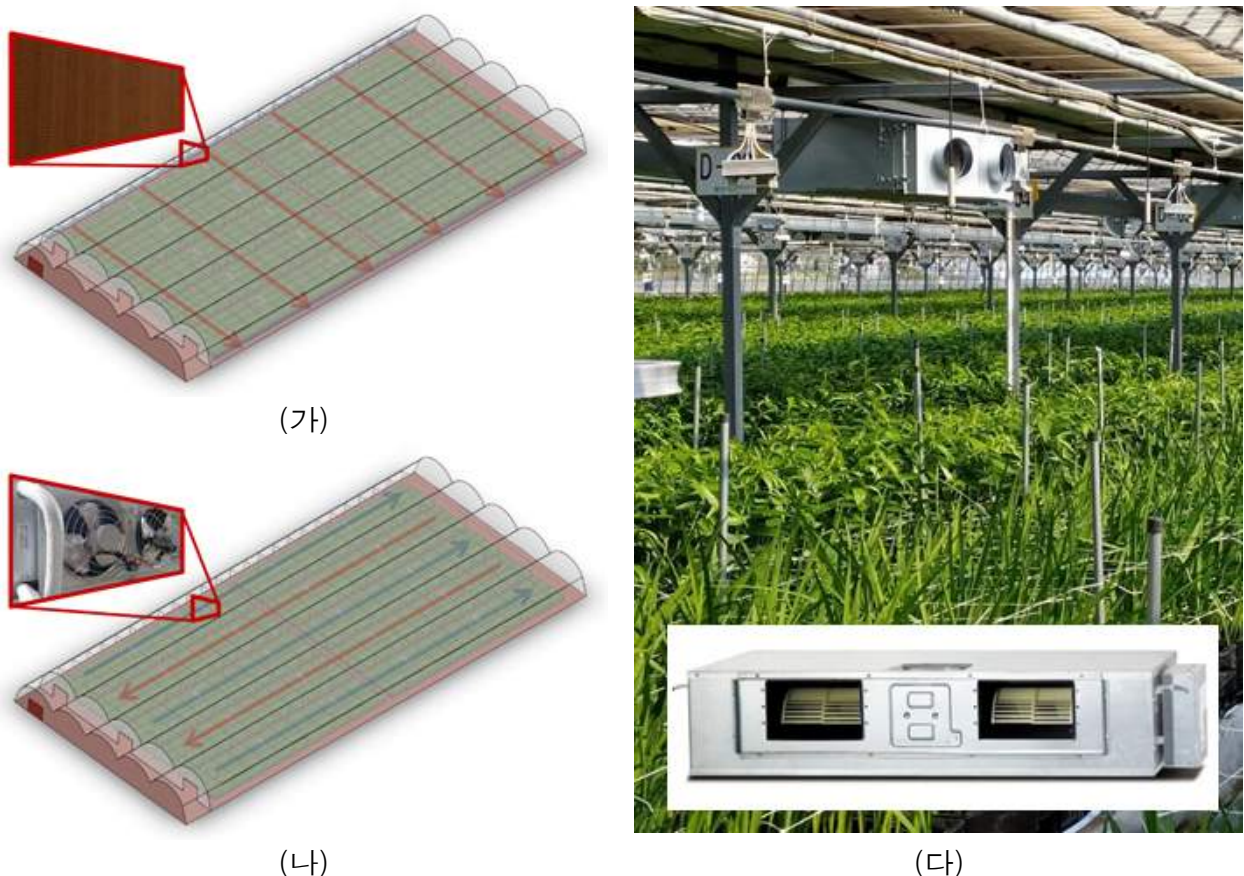


그림 2-4-1-4. 기술발전에 따른 원예시설 공조방식 변화: (가) 1세대 팬앤패드(Fan and Pad; FNP) 방식, (나) 2세대 팬코일유닛(Fan Coil Unit; FCU) 방식, (다) 본 연구 과제에서 제안한 HFC 냉매 이용 무축열조 온실공조 방식



- 생육환경을 적정하게 관리하기 위해 도입된 냉난방 기술은 지하수의 냉기와 잠열증발 또는 자연대류의 원리를 이용한 팬패드(Fan and Pad; FNP) 방식(위 그림 2-4-1-4. (가) 참고)에서 물 냉매를 이용한 펌프 및 팬 이용하여 강제 순환하는 팬코일유닛(Fan Coil Unit; FCU) 방식(위 그림 2-4-1-4. (나) 참고)로 진화하였음

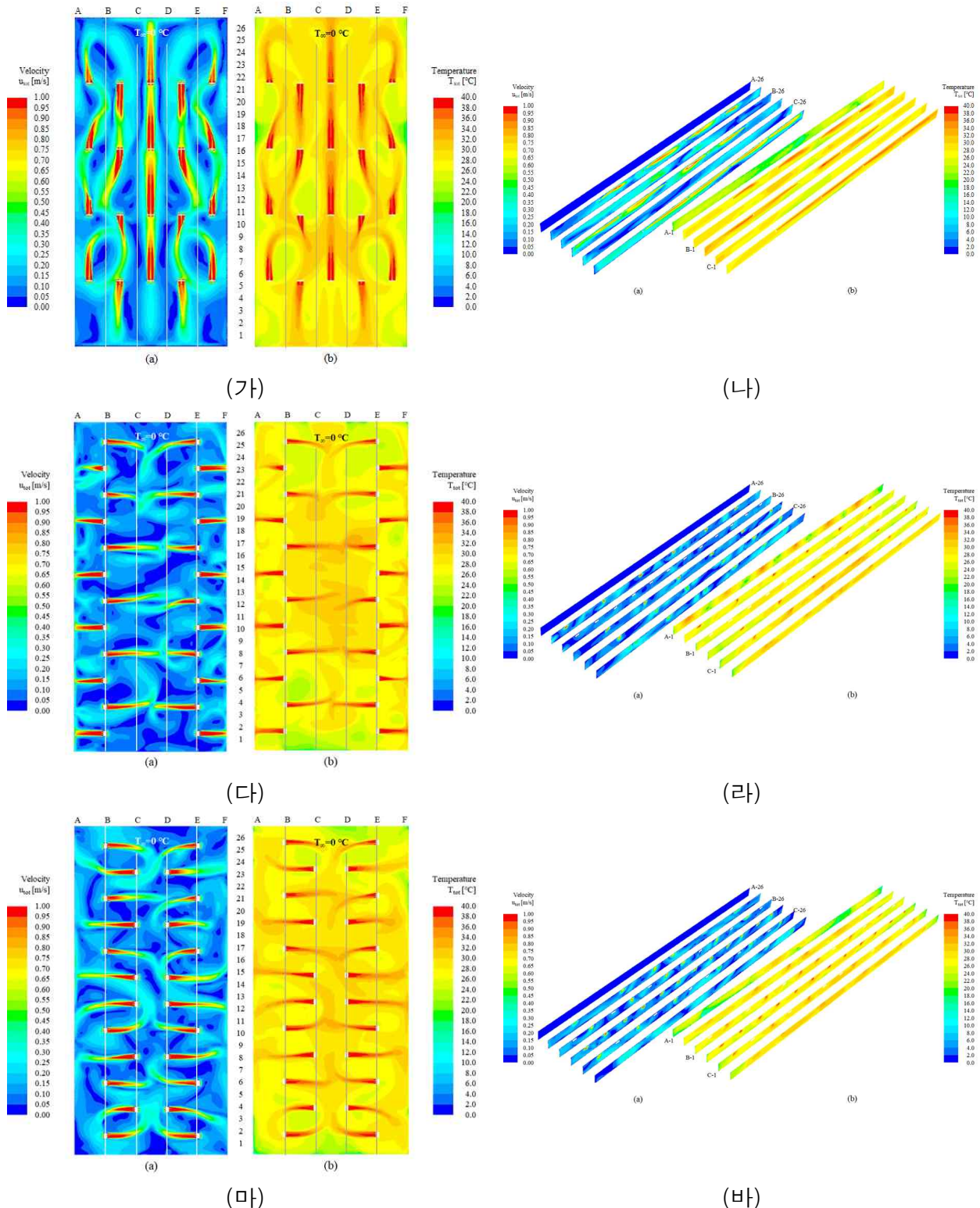


그림 2-4-1-5. 실증온실 공조방식에 따른 열유동장 전산유체해석(CFD) 결과: 재순환 영역 방식일 때 (가) 수평면과 (나) 수직면에서의 속도(왼쪽) 및 온도(오른쪽) 분포도, 총돌 및 확산 방식일 때 (다) 수평면과 (라) 수직면에서의 속도(왼쪽) 및 온도(오른쪽) 분포도, 상호교차 방식일 때 (마) 수평면과 (바) 수직면에서의 속도(왼쪽) 및 온도(오른쪽) 분포도



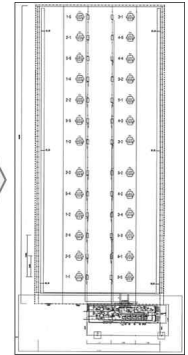
- 본 연구과제에서는 건물 공조 시스템에서 (약 150 m 길이 이내의 냉매관을 이용하여) 안정적인 작동이 검증된 HFC 냉매 방식의 무축열조 공조방식와 물냉매를 이용한 복사관 이용 대류난방방식을 혼합하여 기존 1세대 팬엔패드(FNP) 방식과 2세대 팬코일유닛(FCU) 방식에 비해 보다 진보한 물-냉매 하이브리드 형태의 온실 공조 시스템을 구성함 (위 그림 2-4-1-4. (다) 참고)
- 온실로 공급하는 정해진 에너지 총량을 합리적으로 활용하기 위해 설계 전 계산과학 기법 중 하나인 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics; CFD)을 이용하여 예측함



(가)



(나)



(다)



(라)



(마)



(바)

그림 2-4-1-6. 실증온실 공조 설비 구축과정: (가) 무축열조 온실공조방식 현장방문, (나) 공조방식 논의 및 설치(안) 도출, (다) 공조 배관 자재 반입, (라) 공조 배관 용접, (마) 공조기 설치 및 배관 시공, (바) 공조기 설치 및 배관 마감(중)



- 여기서, CFD 수치해석 조건으로 2중으로 가림한 온실 내벽에서의 평균온도는 겨울철 평균 기온을 고려하여 0 °C로 가정하였으며 바닥면에서의 온도는 지열조건을 이용하여 15 °C로 가정하였고 공조기 입구에서의 유속은 최대 1 m/s, 온도는 40 °C로 가정하였으며 Relisable k-ε 난류모델을 이차풍상기법으로 이산화하여 계산함
- **(CFD 계산결과: 재순환 영역 방식)** 온실 내 설치된 20대의 공조기를 각 연동 길이방향으로 엇갈리게 배치하여 구역별 재순환영역을 형성함으로써 균일한 생육환경 구현이 가능한 방법임 (위 그림 2-4-1-5. (가) 및 (나) 참고)
- **(CFD 계산결과: 충돌 및 확산 방식)** 온실 설치 공조기수를 4~5 RT급 24개로 하고 B열과 E열에 엇갈리게 배치함으로써 벽면에서의 열손실을 보강하고 가운데 충돌기류를 형성하여 열의 고른 분포가 가능한 방법임 (위 그림 2-4-1-5. (다) 및 (라) 참고)
- **(CFD 계산결과: 상호교차 방식)** 온실 공조기수는 24개로 충돌 및 확산 공조방식과 동일하나 온실중앙부분(C와 D열 사이)에서의 과도한 충돌기류 형성으로 기류의 운동에너지 손실을 줄이고 벽면으로 분사되는 기류가 벽면과의 충돌로 확산이 저해되는 단점을 보완한 방법임 (위 그림 2-4-1-5. (마) 및 (바) 참고)

② 온실 공조 설비 구축

- **(온실공조 사례조사)** 무축열조 공조방식을 적용한 온실공조 설치 사례를 참고하기 위하여 2021년05월20일(목) 전라남도농업기술원 내 유리온실과 전남 화순에 위치한 시설원에 농가를 방문함
- **(공조방식 및 설치안 논의)** 본 연구 설계 및 시공 초안에서는 작물의 빛 가림 최소화, 온실 작업자의 활동성 저해 최소화, 플라스틱 온실 구조물의 하중부담 최소화, 배관 분배의 복잡을 줄임으로써 시공 편의성 향상 등을 개념설계안에 반영 및 개선함

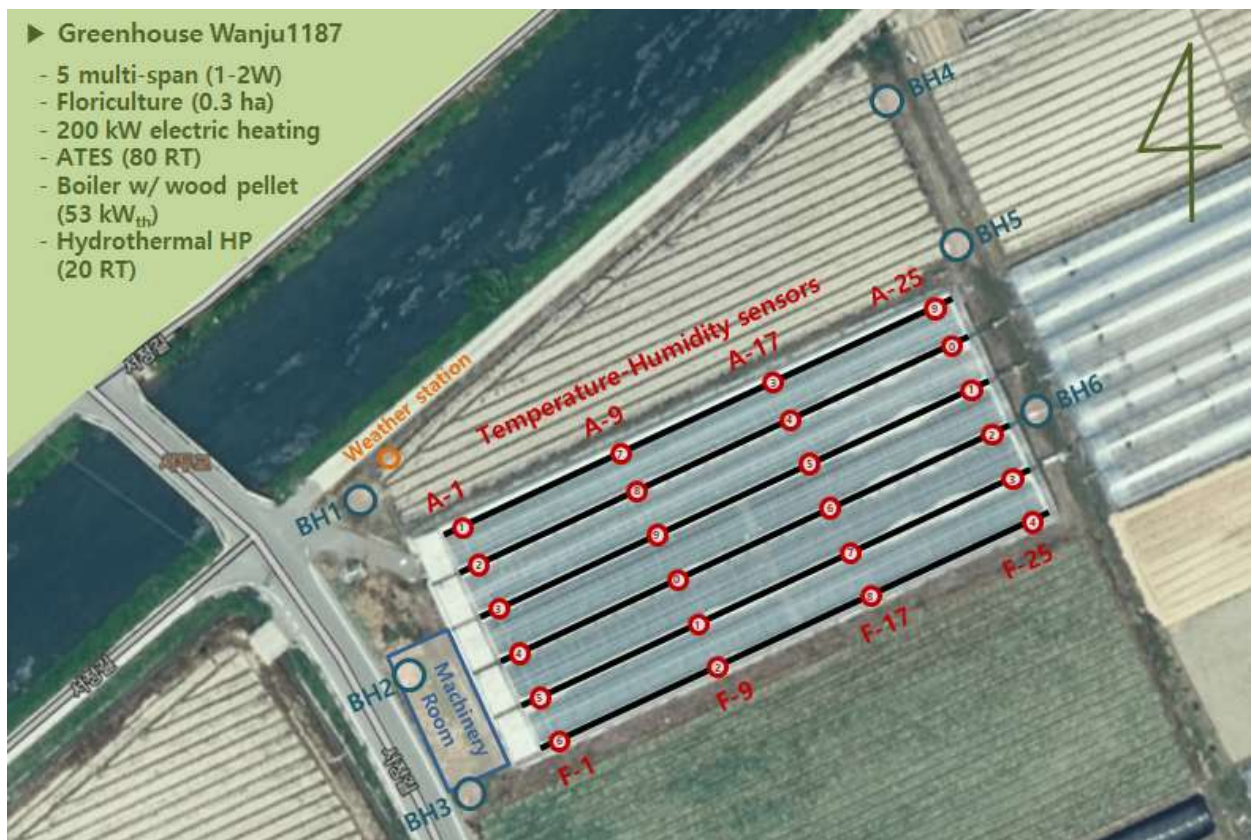


그림 2-4-1-7. 실증온실 에너지 설비 및 복합 환경측정 센서 배치 개요; 파란색 원: 대수층 계간축열 함양공(BH) 위치, 붉은색 원: 온습도 센서 위치 및 번호 주기, 주황색 원: 기상센서 위치



- **(온실공조 현장방문)** 개념설계 및 수치해석을 통한 검증과정 이후 설계안을 확정하기 위하여 2021년06월08일(수) 실 사용자인 청운농원 농장주와 함께 무축열조 방식의 온실공조기 설치현장인 청주농업기술센터와 논산 시설원에 농가를 방문하여 관계자들과 의견을 교환함 (위 그림 2-2-6. (가) 참고)
- **(총돌 및 확산 공조방식 채택)** 기류의 운동에너지 손실 저감 및 온도의 균일한 분포를 보강하기 위해 공조기를 각 12개씩 C열과 D열에 설치하고 기류방향의 대부분을 온실 외벽을 향하하는 총돌 및 확산 공조방식을 수정 및 채택함 (위 그림 2-4-1-6. (나) 참고)
- **(기계실 착공)** 2021년 6월경 (주)지엔에스엔지니어링 측에서 대수층 계간축열을 위한 본공 굴착공사를 마무리함에 따라 동년 6월부터 한국지질자원연구원과의 본공 성능평가(양수 및 주입시험 등)와 병행하여 6월 하순부터 기계실 설치공사를 진행함
- **(기계실 구조물 완공)** 7월 기계실 외관공사를 마무리하고 9월 하반기 정식을 앞두고 8월부터 약 2주간 온실소독과 약 1주간의 환기과정을 거침 (참고: 2021년09월06일(월) 정식 시작)
- **(공조 자재 반입 및 시공)** 8월 중 온실 공조 설계안을 확정하고 온실내 공조기 설치 작업을 9월말 현장 작업공간 확보 실측을 시작으로 2021년10월06일(수) 공조 배관자재반입, 2021년10월08일(금) 배관용접 시작, 2021년10월19일(화) 공조기 설치 및 배관 시공을 진행하였음 (위 그림 2-4-1-6. (다)~(바) 참고)

### (3) 온실 내외부 열환경 모니터링 시스템 구축

#### ① 온실 생육환경 측정 단위구역 및 계측장비 위치 설정

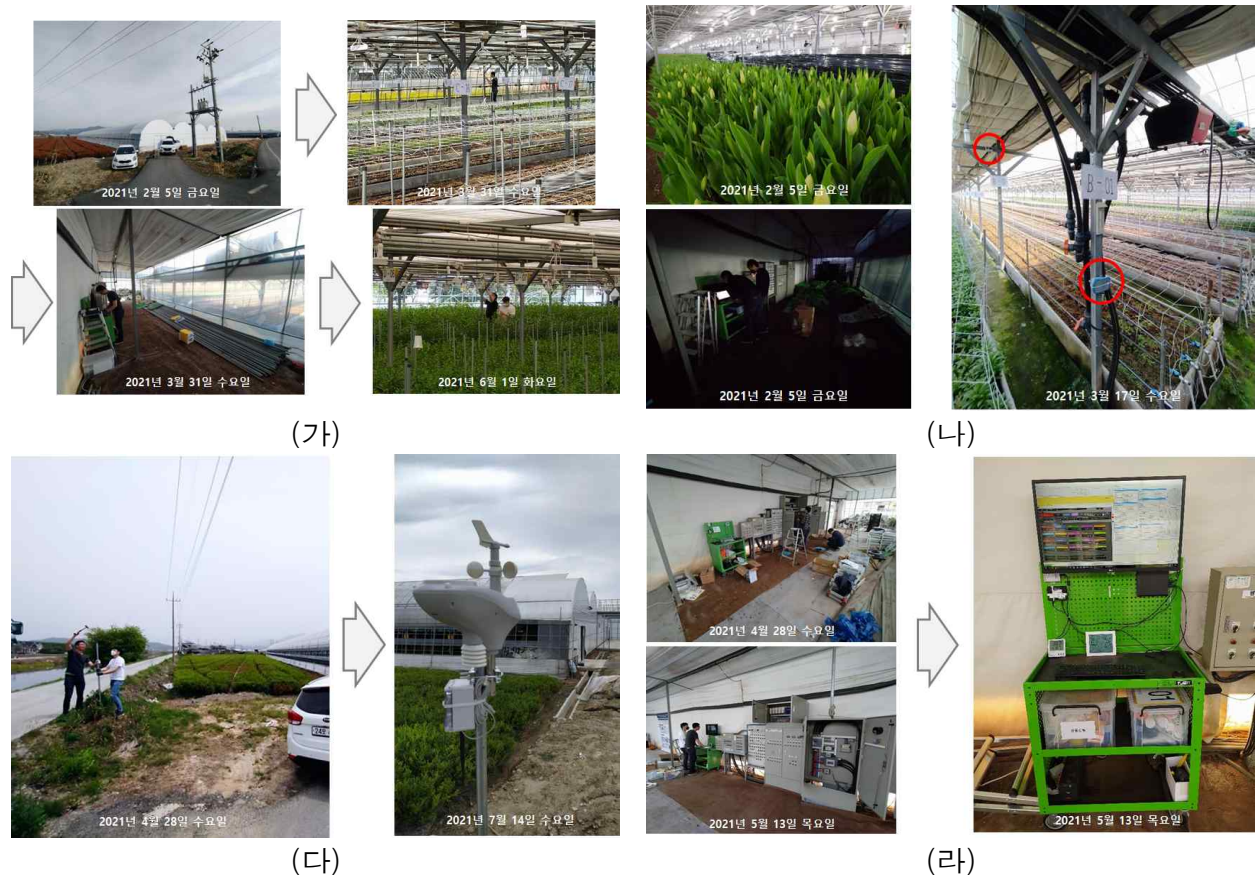


그림 2-4-1-8. 온실 내외부 에너지 및 복합 환경측정 시스템 구축 과정: (가) 온실내부 주기 명판 설치 및 보수, (나) 온실내부 온습도센서 설치, (다) 온실외부 기상센서 설치, (라) 전력센서 설치 및 데이터 플랫폼 구축

- **(온실 개요)** 완주 실증온실은 면적 0.3 ha(가로 약 35 m, 세로 약 90 m) 규모, 1-2W 구격의 5연동 플라스틱 온실로써 온실전면은 남동향을 향하고 있으며 북서쪽으로 여유 부지와 하천이 위치하여 대수층 계간축열과 수열에너지 및 바이오설비를 적용하기에 적절한 지리적 이점을 가지고 있음 (위 그림 2-4-1-7. 참고)
- **(에너지 설비 설치 개요)** 그림 2-4-1-7.은 전라북도 완주군 장거리 1187번지에 위치한 청운flower(구 청운농원)를 공중에서 내려다본 모습(조감도)으로 좌측하단 온실입구를 기점으로 대수층 계간축열 온열공 3개와 반대편 우측상단에 냉열공 3곳이 구축되어있으며 남쪽 차도와 온실 사이에 기계실이 위치할 예정임

② 온실 내외부 복합 환경측정 시스템 구축

- 그림 2-4-1-8은 온실 내외부에서 기상 및 복합환경측정 데이터베이스 플랫폼을 구축하는 과정을 나타낸 그림으로 측정단위 구역을 설정하기 위해 2021년02월05일(금) 주기명판 설치 또는 보수를 시작으로 2021년03월17일(수) 온실내부에 온습도센서를 설치하였고 2021년04월28일(수) 온실외부에 기상센서 설치하였으며 2021년05월13일(목) 전력센서 설치 및 데이터 취득용 서버(HP사, 260 G4)를 이용하여 데이터베이스 플랫폼을 구축하였음 (위 그림 2-4-1-8. 참고)
- **(온실 외부 기상센서 설치)** 온실 에너지 관리를 위해 실증온실이 위치한 지역에서 온실 내부 및 외부에 대한 기상 및 환경측정이 필요하므로 온실 주변부에서의 온도, 습도, 일사량, 강우량, 풍속, 풍향 측정이 가능한 복합환경 측정장비(찬주테크, WH-2300S; Misol, WS-WH2950-1; Misol, WS-WH24CP-1 기반 개발센서 등)를 구축하였음
- 이때, 온습도센서 설치 높이는 국제 규격을 준수하여 지상에서 1.5 m 높이에 위치하였으며 온습도센서 설치환경은 간이 백상엽을 사용하여 태양광 직사 및 지면에서의 반사광 영향을 최소화하였음 (위 그림 2-4-1-7. 및 2-4-1-8. 참고)

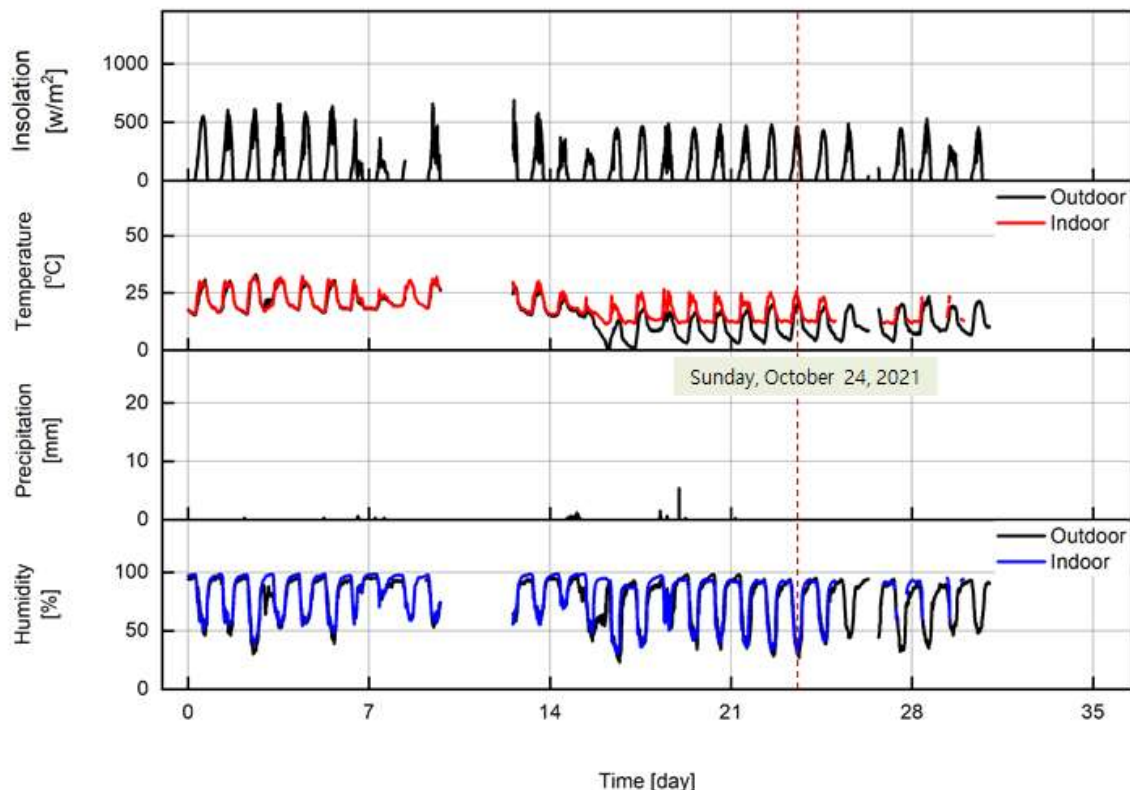


그림 2-4-1-9. 실증온실 내외부 복합 환경측정 결과 및 분석(2021년10월 한 달분): 온실내부 (온도 붉은색, 습도 파란색) 및 외부(검정색 표기) 복합환경 측정결과

- **(온실 내부 온습도 센서 설치)** 온습도 측정장치(Omega사, 센서:UWRH-2A-nema-M12, 리시버:UWTC-REC1)는 연동온실 기둥을 기준으로 각 열 당 4개 씩 총 24개를 생장점이 위치하는 높이인 바닥에서 약 0.7~0.8 m 사이에 설치하였으며 온실 상단부(바닥에서 2.3 m 높이)에는 각 열 당 3개 씩 총 18개의 온습도 측정장치(Sato사, 로거:SK-L700R-TH, 센서:SK-L700R-TH-1, 중계기:SK-L700R)를 설치함 (위 그림 2-4-1-7. 및 2-4-1-8. 참고)

③ 온실 내외부 복합 환경측정 결과 및 분석

- **(온실 내외부 복합 환경측정 결과)** 올 초 기 구축한 온실 내외부 기상 및 복합 환경측정 시스템 및 데이터베이스 플랫폼을 이용하여 2021년05월부터 지속적으로 작물 생육환경 데이터를 모니터링 및 수집하고 있음
- 위 그림 2-4-1-9.는 2021년09월05일 하반기 정식 이후 10월 한 달 동안 측정한 온실 내부에서의 온도(붉은색 실선)와 습도(파란색 실선), 온실 외부에서의 일사량(맨 위쪽 검은색 실선), 온도(위에서 두 번째 검은색 실선), 강우량(위에서 세 번째 검은색 실선), 습도(맨 아래쪽 검은색 실선) 측정 결과임
- 여기서, 10월 중순부터는 저녁에서 새벽까지 온실 외기온이 적정생육조건인 15~25 °C 범위를 벗어나 15 °C 이하로 급격히 하강하여 기존 가온설비(약 140 kW<sub>e</sub> 이하)인 세라믹 발열체를 이용한 난방을 실시하였음 (아래 그림 2-4-1-10. 참고)
- **(온실 내부 온습도 분포 분석)** 아래 그림 2-4-1-10.은 2021년10월24일(일) 하루 동안 온실 내부에서 측정한 온습도 분포를 가시화한 결과로 새벽 6시 무렵 가장 기온이 낮았고 오후 2~3시 무렵 가장 기온이 높고 상대습도가 낮았으며 저녁 6시를 기점으로 온도가 급격히 낮아지고 상대습도가 높아지기 시작하여 자정 무렵에는 습도가 100% 가까이 상승하였음
- 온실 하단(0.7~0.8 m)과 상단(2.3 m)에서의 온도차는 대략 2 °C였으며 정오를 기준으로 온실중심부와 가장자리에서의 온도편차는 대략 5 °C이었음

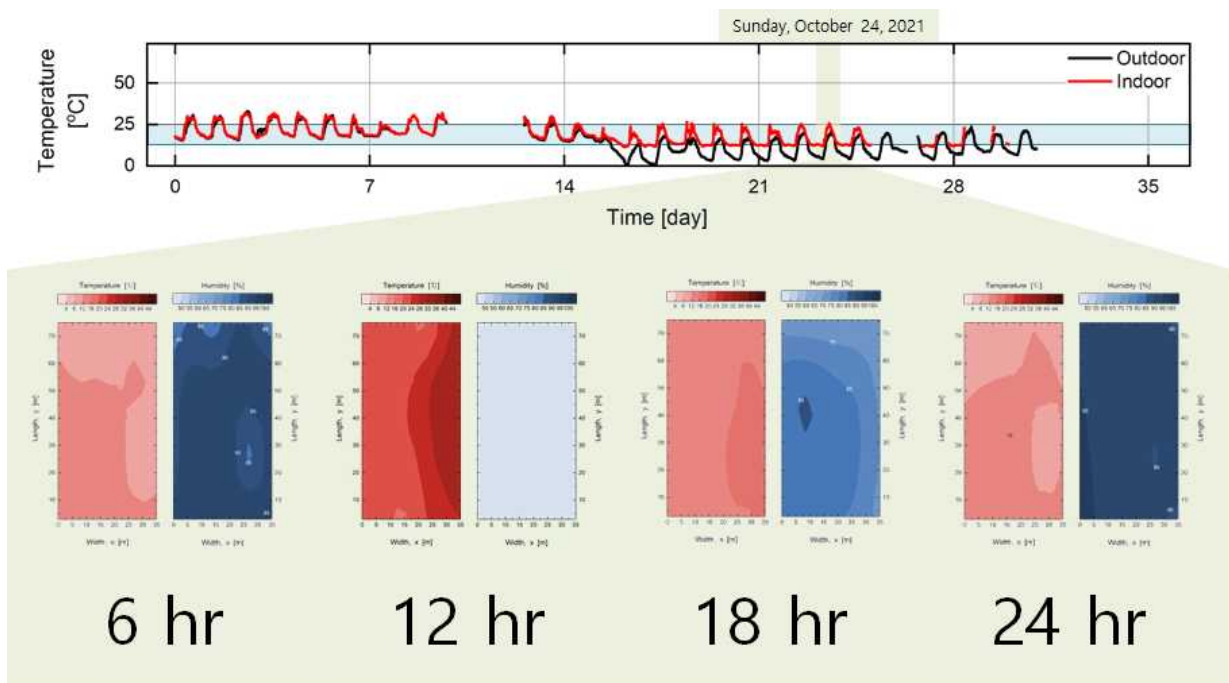


그림 2-4-1-10. 2021년10월24일 하루단위 각 시간별(6시, 12시, 18시, 24시) 온실 내외부 온습도 측정결과(아래 분포도 각각 왼쪽 온도분포, 오른쪽 습도분포)

#### (4) 융복합 에너지팜 투자비용 대비 회수편익 분석 (추정)

##### ① 투자비용 분석

표 2-4-1-1. 융복합 에너지팜 설비투자 및 운영비 추정 (설비 유지 10년 기준)

내역 (단위: 억 원)	ATES설비	수열설비	바이오설비	기계실	공조시설	합계	비교군
	본공 +보조공	관로+펌프 +배수정 등	펠릿보일러 +버퍼탱크	설비+배관 +제어반 등	공조기 +복사열관		유류보일러+ 기계실 등
	80 RT 기준	20 RT 기준	53 kW <sub>th</sub> 기준	300 Mcal/hr 기준	0.3 ha 기준		300 Mcal/hr 기준
설치비	4.5	0.4	0.1	4.0	1.5	10.5	2.0
유지비	운영비 <sup>1)</sup>					0.7	9.4
	수선비 <sup>2)</sup>					0.1	0.1
	감가상각 <sup>3)</sup>					2.4	0.5
합계						13.7	12

- 1) 운영비: 히트펌프 성능계수(COP) 4 가정, 농사용(을) 전력요금(42 원/kWh) 기준,  
kW=0.86 Mcal/hr, 유류보일러 연료 등유(1367 원/L) 기준  
난방일: 3월1일~4월15일 및 10월15~11월30일 기간 300 Mcal/hr 하루 8시간 공급 기준,  
11월01일~02월28일 기간 300 Mcal/hr 하루 13시간 공급 기준
- 2) 수선비: 0.01억 원/년, 물가상승률 2% 가정
- 3) 감가상각: 설비비의 3%/년 가정

##### ② 경제성 분석 관계식

- 순현재가치(Net Present Value; NPV): 설비투자로 기대되는 순 현금흐름 할인 후의 현재 가치와 당초 투자비용과의 차액

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{B_t}{(1+r)^t} - C_0, \quad \sum_{t=1}^T \frac{B_t}{(1+IRR)^t} = C_0$$

- 여기서 전체 투자 기간(T)은 10년, 할인율(r)은 10%, 융복합 에너지팜 설치비(C<sub>0</sub>)는 8.5억 원(비교군인 등유 보일러 설치비 차액), 편익(B<sub>t</sub>)은 0.87억 원/년(비교군인 등유 보일러와 연간 운영비 차액)으로 가정
- 내부수익율(Internal Rate of Return; IRR): 설비투자로 발생하는 비용과 편익 흐름에서 투자계획의 현재가치를 0으로 만드는 할인율
- 편익비용비율(Benefit-Cost Ratio; BCR): 편익의 현재가치를 비용의 현재가치로 나눈 비율

$$BCR = \sum_{t=1}^T \frac{B_t}{(1+r)^t} / C_0, \quad \sum_{t=1}^{PP} \frac{B_t}{(1+IRR)^t} = C_0$$

- 회수기간(Payback Period; PP): 설비투자에 대한 투자비 회수기간

##### ③ 경제성 분석 결과

- 할인율 10%, 설비유지기간 10년으로 가정하였을 때 순현재가치(NPV)가 -5.1~-3.2이고 내부수익율(IRR)은 0.4%이며 편익비용비율(BCR) 0.61, 투자회수기간(PP)은 약 12년으로 예상됨
- 연구개발 단계에서의 비용 추산이긴 하나 보급사업을 위한 경제성 확보를 위해 초기 투자비를 줄이는 노력이 필요할 것으로 생각됨



[협동기관] 한국지질자원연구원 (기관별 핵심성과 위주 10쪽 이내 작성)

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용	연구결과
1단계 2차 년도 (2021)	대수층 계간축열을 위한 최적지 지질조사 및 대수층 평가	실증지 대수층 평가	○실증지 대수층 국지 적 지하수 유동 방향 추정	○양수시험 수행으로 공별 적정양수량 및 안정 수위 판단. ○모델링 결과 기존 지하수 수두구배가 낮을수록 축열에 의한 성능 향상이 잘 나타남
			○실증지 온도 수위 모 니터링 장치 설치 및 해석	○3개소에서 장기 모니터링을 실시하였 으며, 지하수위 범위가 전체적으로 0.6 ~ 2.0m 심도로 측정됨 ○상부 천부지하수온은 국지적으로 온도 차이가 있는 것으로 나타나며, 추후 운영에 의한 온도-수위 변화 모니터링 이 필요함
			○대수층 수질 분석 및 환경성 평가	○수온변화에 따른 탄산염 침전은 배경 수질에서는 크게 문제되지 않을 것으 로 여겨짐 ○유기물 오염의 가능성이 있고 차후 용 존유기물 분석이 필요

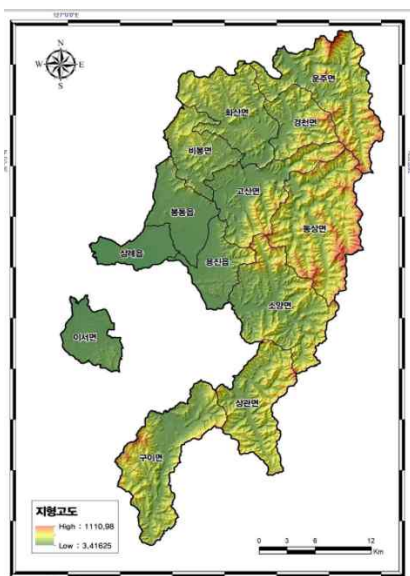
(1) 실증부지 대수층 수리지질 특성 평가

① 연구지역 지형고도 및 지형경사 (아래 그림 2-4-2-1 참고)

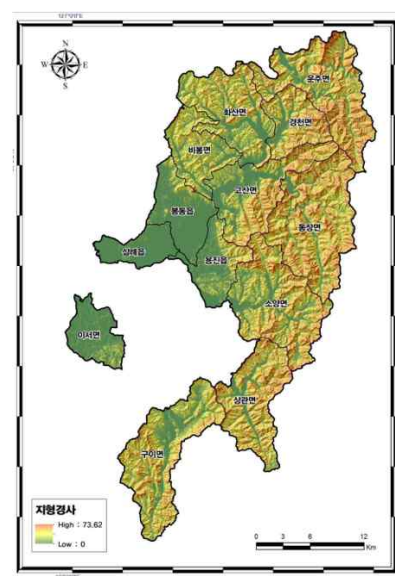
- 완주군은 해발고도 EL. 3.42-1110.98 m의 범위로 분포하며 전체면적의 53.11%가 200 m 이하로 전반적으로 고도가 낮게 형성되어 있음
- 완주군의 지형경사는 0-73.62° 의 범위를 가지며 평균경사도는 18.59° 임

② 연구지역 실증부지 지질현황 (아래 그림 2-4-2-2 참고)

- 연구지역 실증부지는 신생대 4기 충적층과 중생대 쥐라기 화강암류가 분포하고 있으며 실  
증부지는 대부분 4기 충적층에 해당되며 주로 사질과 점토(실트), 자갈로 구성되어 있음



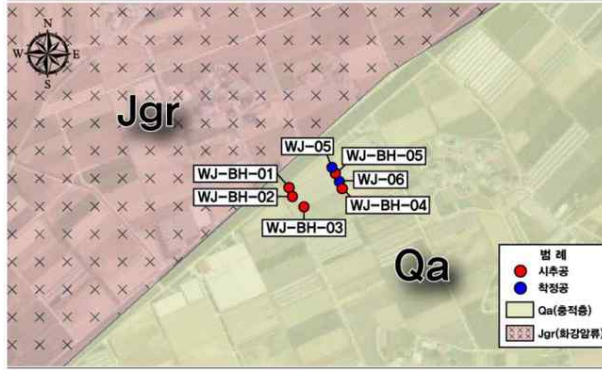
(가)



(나)

그림 2-4-2-1. 연구지역인 완주군의 (가) 지형고도 및 (나) 지형경사





(가)



(나)

그림 2-4-2-2. 완주군 연구지역 (가) 실증부지 지질도 및 (나) 시추조사공과 착정공 위치도

③ 연구지역 실증부지 총적층 수리적 특성 평가 (아래 표 2-4-2-1 참고)

- 실증부지 내의 총적층 특성을 파악하기 위해 시추조사를 수행하였으며 총적층의 수리적 특성을 평가하기 위해 5개 시추조사공에서 간이 수리시험을 수행하였음
- 실증부지의 5개 시추공의 굴착심도는 약 6.85 m~13.32 m 이며, 굴착구경은 75 mm 로 동일하며 자연수위는 2.03 m~2.24 m의 분포범위를 보였음
- 각각의 시추공에서 수행된 양수량은 15.05 m<sup>3</sup>/day~17.75 m<sup>3</sup>/day 이고, 수위강하 범위는 약 0.075 m~0.01 m 로 나타났음
- 수리시험 결과 평균 수리전도도(k)는 10<sup>-1</sup> cm/s 이며, 약 10<sup>-1</sup> cm/s~10<sup>-2</sup> cm/s의 범위로 나타났음

표 2-4-2-1. 시추조사공 양수시험 제원 및 간이 수리시험 결과

공번	굴착 심도 [m]	굴착 구경 [mm]	양수량, Q [m <sup>3</sup> ]	자연 수위 [m]	수위 강하 [m]	B [m]	Theis	Jacob	평균
							k, ×10 <sup>-1</sup> [cm/s]		
WJ-01	8.96	75	16.52	2.08	0.775	6.88	0.97	0.97	0.97
WJ-02	7.85		15.05	2.14	0.050	5.75	1.60	1.60	1.60
WJ-03	13.32		17.55	2.24	0.010	11.53	4.80	4.80	4.80
WJ-04	6.85		17.75	2.03	0.030	4.84	1.70	1.70	1.70
WJ-05	8.21		17.50	2.11	0.020	6.14	2.40	2.40	2.40

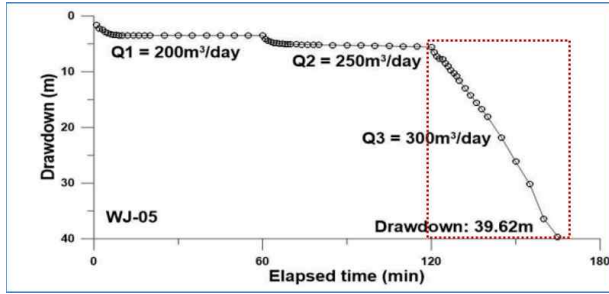
④ 연구지역 실증부지 적정양수량 산정을 위한 단계 수리시험 수행

(아래 표 2-4-2-2. 및 그림 2-4-2-3. 참고)

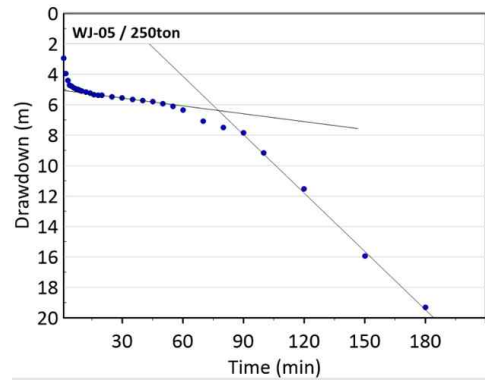
- 대수층 계간축열 시스템의 양수 및 주입량을 위한 실증부지의 적정양수량을 평가하기 위해 단계 수리시험을 수행하였으며 단계양수시험은 일정 양수량으로 하기 위해 오리피스와 밸브조절로 양수량을 일정하게 유지하면서 수행하였음
- 단계양수시험은 200 m<sup>3</sup>/day 부터 시작을 하였으며 단계별 50톤씩 증가하는 계획을 세우고 수행하였으며 3단계 300 m<sup>3</sup>/day 에서 39.62 m 로 급격한 수위강하가 나타남

표 2-4-2-2. 시추조사공 단계 양수시험 결과

단계	초기수위 [m]	양수량 [m <sup>3</sup> /day]	수위강하(SW) [m]	단계별 수위강하 [m]	비수위강하량 [SW/Q]
1	0.88	200	3.51	3.51	0.0175
	4.39	250	5.58	2.07	0.0223
	6.46	300	39.62	34.04	0.1321



(가)



(나)

그림 2-4-2-3. 실증부지 적정양수량 평가를 위한 단계수리시험 수행

- 이후 250 m<sup>3</sup>/day 으로 수행을 하였으나 60분 이후 서서히 수위가 하강하여 WJ-05 공은 200 m<sup>3</sup>/day으로 장기 양수시험을 수행하는 것이 적절하다고 판단함

⑤ 연구지역 실증부지 적정양수량 평가를 위한 장기 수리시험 수행 (아래 그림 2-4-2-4. 참고)

- 단계 수리시험의 결과로 인해 본 실증부지의 WJ-05 공의 적정양수량 평가를 위해 200 m<sup>3</sup>/day이 적합하다고 판단되어 착정공 5번과 6번공에서 200 m<sup>3</sup>/day 으로 장기 수리시험을 수행하였음
- 장기 수리시험 결과, 두 관정에서는 안정된 수위를 보였으며, 두 관정의 수위강하가 다른 것은 광역적으로 하나의 연구지역으로 보이지만, 세부적으로는 다른 수리적 특성을 보이는 것으로 판단됨

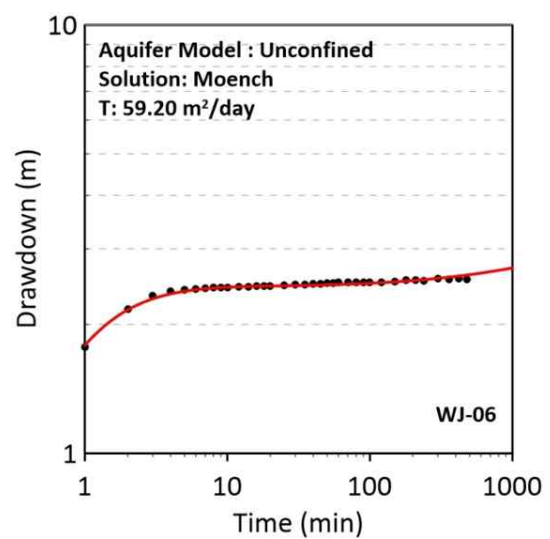
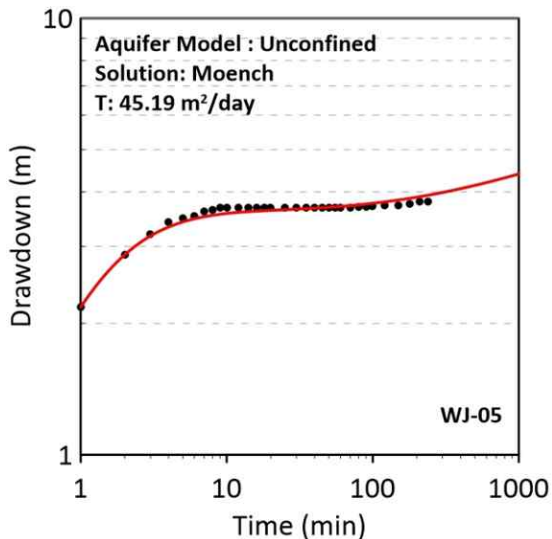
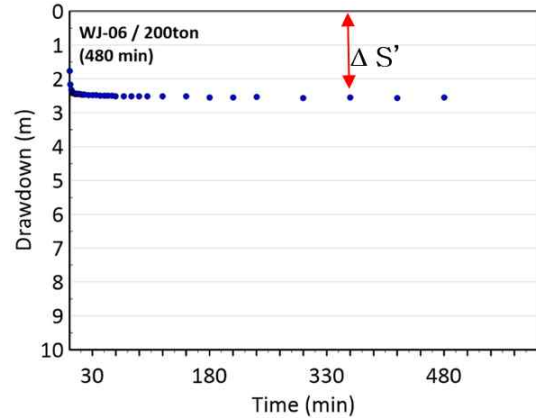
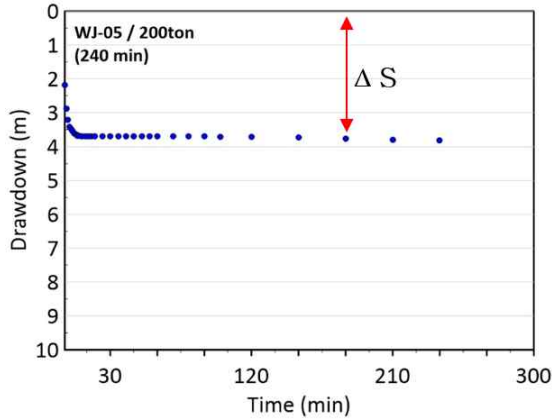


그림 2-4-2-4. 실증부지 적정양수량 평가를 위한 장기수리시험 평가

- 두 관정을 비교한 결과, WJ-05 관정에서는 약 3.8 m의 수위강하가 발생하였고, WJ-06 관정에서는 약 2.5 m 정도의 수위강하가 발생하였다. 양수시험 결과는 WJ-06 관정이 더 수량이 풍부한 것으로 판단되었음
- 또한, 두 관정의 양수시험 해석은 자유면 대수층으로 적용하였으며 Model solution 은 Moench 방법을 활용하였다. 분석 결과 두 관정에서의 수리적 특성 중 투수량계수(T)는 WJ-05 관정에서는 T: 45.19 m<sup>2</sup>/day 로 계산되었으며 WJ-06 관정에서는 T: 59.20 m<sup>2</sup>/day 으로 계산되었다. 앞선, 시추조사공에서 수리전도도(k)로 해석하였으며 이번에 시험의 경우 총적층과 암반층의 대수층이 같이 부존하여 있어 투수량계수로 계산하였음

⑥ 연구지역 실증부지 대수층 수리지질 특성 평가 결과

- 본 실증부지는 총적 대수층과 암반 대수층으로 구분될 수 있음
- 본 실증부지의 수리시험 연구결과에 따르면 WJ-05, 06 공의 24시간 이상 지속적인 양수를 위해서는 적정양수량은 약 200 m<sup>3</sup>/day 내외가 안정적일 것으로 판단됨
- 단계 및 장기시험 결과, 실증부지는 세부적으로 수리적특성에 차이가 발생하는 것으로 판단됨
- 또한, 본 실증부지 지역은 총적대수층이 대부분의 수량을 부존하는 것으로 판단됨

(2) ATES 대수층 모델링을 통한 대수층 평가

① Model setup

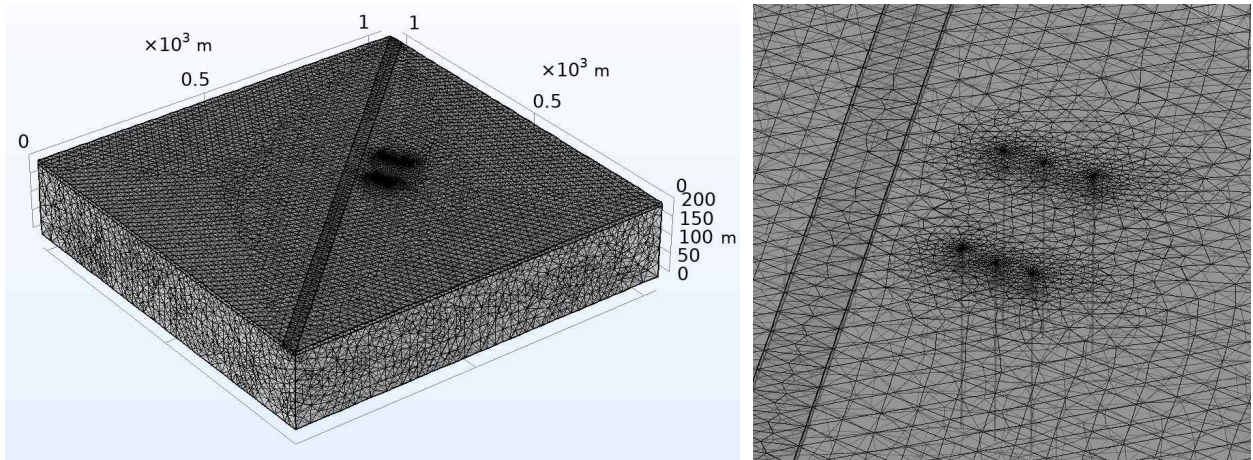
- 도메인: 지열정 주변은 수리지질학적 경계로 삼을만한 강이나 산이 없는 평야지대이므로 모델 도메인은 지열정을 중심으로 가로/세로방향으로 1 km 정도로 충분히 크게 설정했고 깊이는 관정의 길이가 100 m이므로 200 m로 설정
- 수리물성 및 열물성: 이 일대의 전반적인 수리물성과 열물성은 측정되지 않았고 지열정 주변에서 측정된 수리전도도 값만 존재하므로 측정되지 않은 값은 총적층(지표-10 m 구간으로 가정)과 암반층(10-200 m 구간)에 일반적으로 사용되는 수리물성과 열물성을 사용 (아래 표 2-4-2-3. 참고)
- Mesh: 관정 주변에서 심한 압력 및 온도의 변화가 발생하므로 관정 주변의 mesh를 촘촘하게 만든 후 계산과정에서 COMSOL의 mesh adaptation 기법을 사용하여 mesh를 최적화 (아래 그림 2-4-2-5. 참고)

② 경계조건 및 초기조건

- 수리경계: 도메인 좌우로 고정수두 경계를 설정하여 수두 차이에 따라 지하수의 흐름이 발생하도록 했고 나머지 부분은 no flow 조건을 경계로 설정 (아래 그림 2-4-2-6 참고)
- 열경계: 대기온도는 15 °C로 설정하고 바닥에서는 0.06 W/m<sup>2</sup> 만큼의 basal heat flow를 설정했고 지하수의 흐름이 발생하는 측면 경계에서는 지온구배에 해당하는 고정온도 조건을

표 2-4-2-3. 모델링에서 사용된 주요 수리물성 및 열물성

주요 수리물성 및 열물성	값	단위
Hydraulic conductivity (soil)	1.0×10 <sup>-4</sup>	m/s
Hydraulic conductivity (rock)	1.0×10 <sup>-8</sup>	m/s
Porosity (soil)	0.4	-
Porosity (rock)	0.1	-
Thermal conductivity (soil)	0.1	W/mK
Thermal conductivity (soil)	3.0	W/mK



(가)

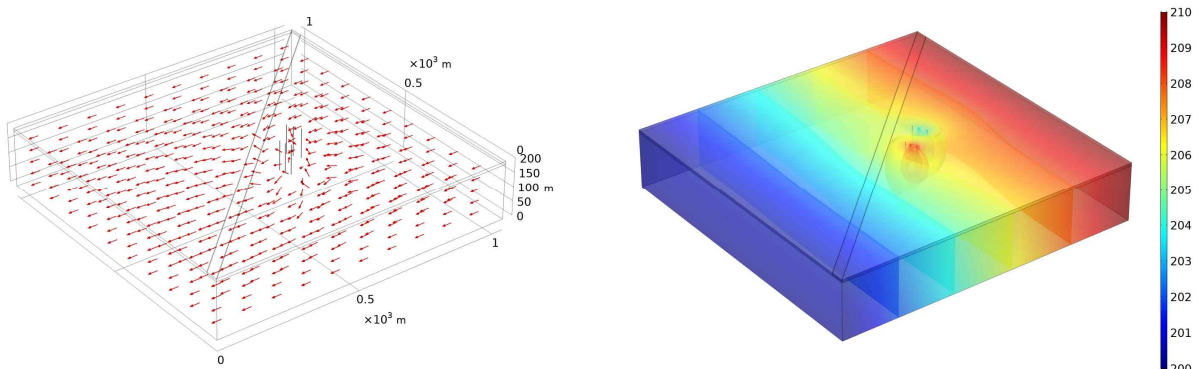
(나)

그림 2-4-2-5. 시뮬레이션에 사용된 약 40만개의 mesh: (가) 전체 도메인, (나) 관정 부근

- 지하수가 빠져나가는 측면 경계에서는 heat outflow 조건을 나머지 부분은 no flow 조건을 설정
- 소스/싱크: 지하수의 양수 및 주입을 위해 pipe module의 outlet과 inlet을 각각 사용했고 outlet에서의 지하수 온도를 peaking 하여 주입열량과 유량으로  $\Delta T$ 를 계산하여 inlet에서의 온도를 설정

### ③ 가동 시나리오

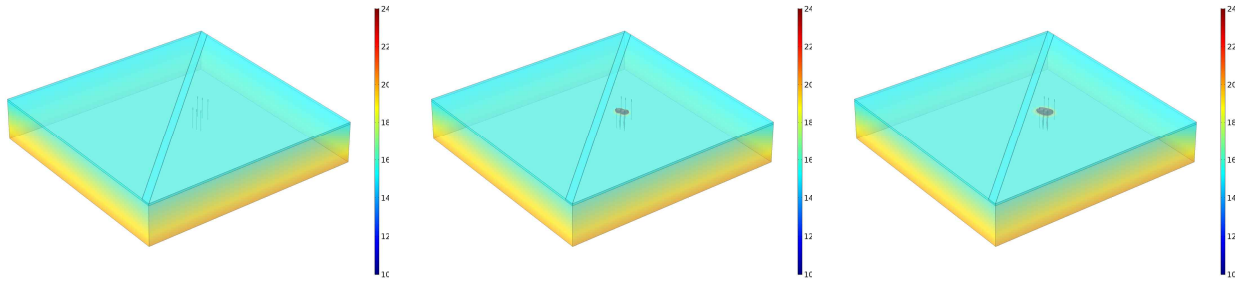
- 지하수 흐름(regional flow)에 따른 축열 성능 변화 평가를 위해 수두구배를 0.01, 0.001로 설정하여 시뮬레이션
- 여름: 91일간 관정 4, 5, 6번에서 각각 10 ton/day, 300 ton/day, 300 ton/day씩 양수를 하여 그 양수한 지하수의 온도에 10 °C를 더하여 관정 1, 2, 3번에 각각 10 ton/day, 300 ton/day, 300 ton/day씩 주입 (아래 그림 2-4-2-7. 참고)
- 가을, 봄: 각각 91일, 92일간 아무것도 하지 않음
- 겨울: 91일간 관정 1, 2, 3번에서 각각 10 ton/day, 300 ton/day, 300 ton/day씩 양수를 하여 그 양수한 지하수의 온도에 10 °C를 빼서 관정 4, 5, 6번에 각각 10 ton/day, 300 ton/day, 300 ton/day씩 주입
- 인근 수로는 일반적인 하천과 달리 지하수와의 상호작용이 불명확하여 특별히 하천으로 계산하지 않음
- 양수나 주입에 의한 지나친 수위강하나 수위상승으로 가동을 중지해야 하는 경우는 시뮬레이션에 포함되지 않음



(가)

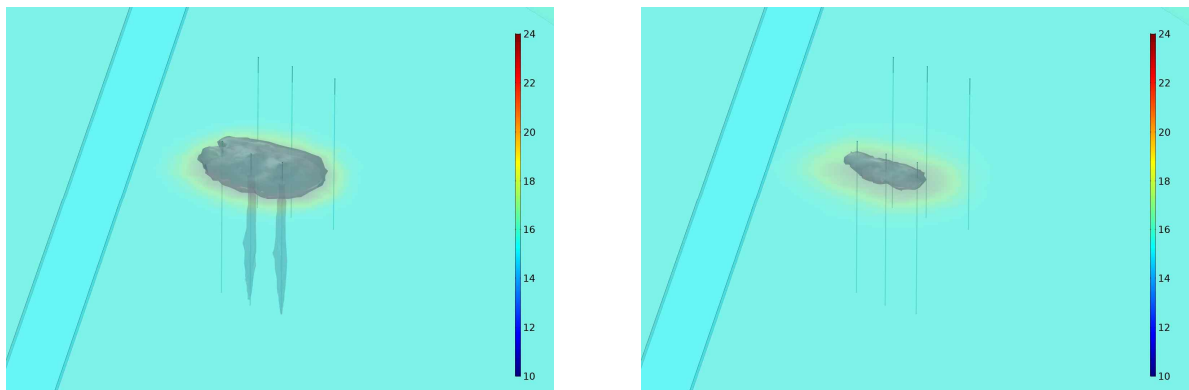
(나)

그림 2-4-2-6. (가) 지하수 흐름 벡터장, (나) 지하수 수두(단위: m), 관정 주변에서 수두의 변화가 급격하게 발생하여 흐름이 생성되는 것을 볼 수 있음



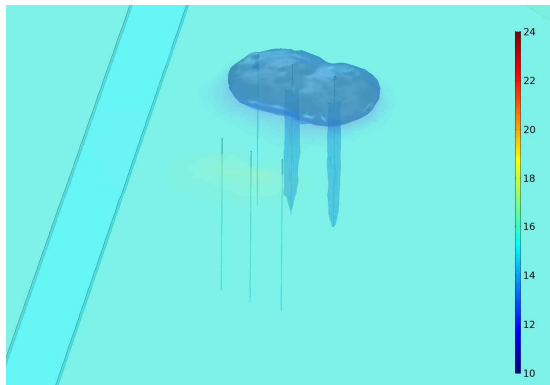
(가) (나) (다)  
 그림 2-4-2-7. 시간에 따른 온도 iso-surface (붉은색: 22 °C)의 변화: (가) 0일, (나) 45일, (다) 91일

- 양수와 주입은 모두 지하 50 m 지점에서 발생



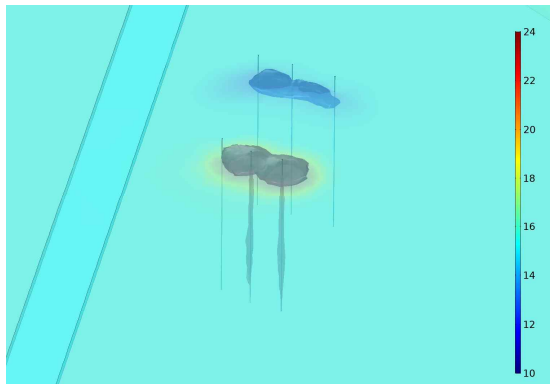
(가)

(나)



(다)

(라)



(마)

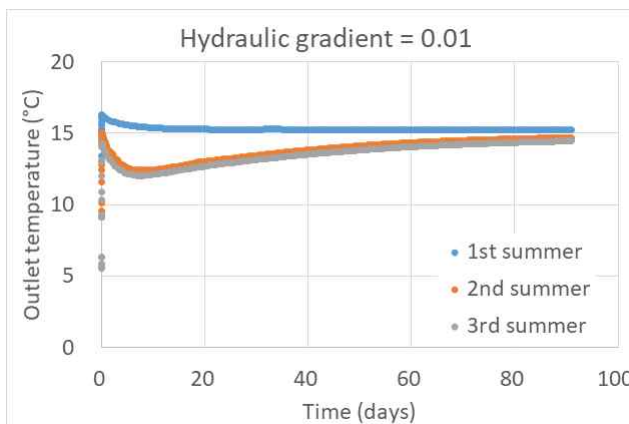
(바)

그림 2-4-2-8. 관정 주변의 시간에 따른 온도 iso-surface (붉은색: 22 °C, 푸른색: 12 °C)의 변화: (가) 91일, (나) 182일, (다) 273일, (라) 365일, (마) 410일, (바) 456일

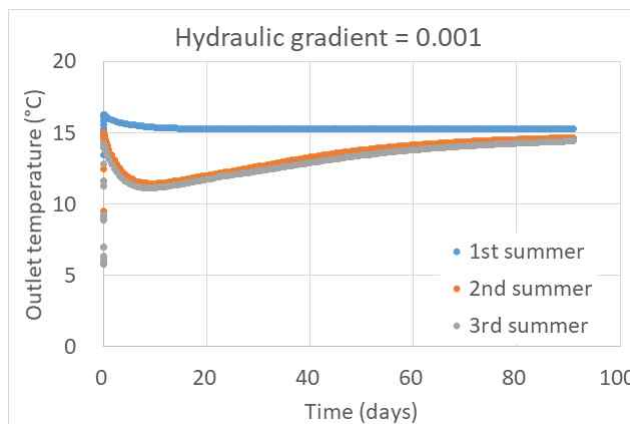


④ 수치해석 결과

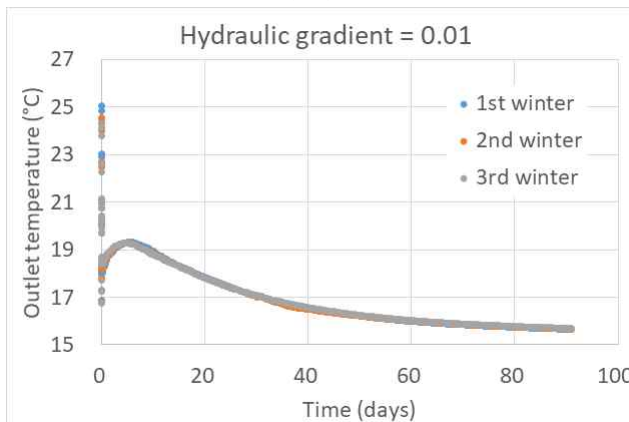
- 여름의 경우 축열에 의한 양수된 지하수의 평균 온도 변화가 수두구배가 0.01인 경우 15.30 °C → 13.83 °C → 13.53 °C, 수두구배가 0.001인 경우 15.30 °C → 13.36 °C → 13.03 °C로 나타남, 겨울의 경우 축열에 의한 양수된 지하수의 평균 온도 변화가 수두구배가 0.01인 경우 16.81 °C → 16.80 °C → 16.82 °C, 수두구배가 0.001인 경우 16.91 °C → 16.99 °C → 17.01 °C로 나타남 (아래 그림 2-4-2-8, 그림 2-4-2-9, 표 2-4-2-4 참고)
- 지하수의 흐름 속도가 느릴수록(수두구배가 작을수록) 축열에 의한 냉난방 성능의 개선이 이루어 질 수 있음을 확인했고 시간이 흐를수록 축열효과가 높아지다가 일정하게 수렴하는 것을 볼 수 있음
- 수두구배가 0.01인 두 번째 겨울의 경우 첫 번째 겨울에 비해 성능이 약간이지만 나빠지는 것을 볼 수 있는데 이는 첫 번째 여름에 주입된 지하수가 가장 뜨겁기 때문에 첫 번째 겨울의 양수되는 지하수가 축열이 얼마 되지 않았음에도 상당히 온도가 높고 두 번째 여름에는 주입되는 지하수의 온도가 첫 번째에 비해 낮아지고 그로 인해 두 번째 겨울에 양수되는 지하수의 온도도 낮아지는데 지하수 흐름에 의한 축열의 저하와 맞물려 나타나는 현상으로 파악됨
- 주입위치를 지중 50 m로 설정하였음에도 대부분의 축열은 지하수가 잘 흐르는 충적층에서 일어나는 것을 볼 수 있고 향후 추가적인 현장 테스트를 통해 충적층의 구조 및 특성을 더 파악하면 장기적인 성능 예측이 가능할 것으로 생각됨



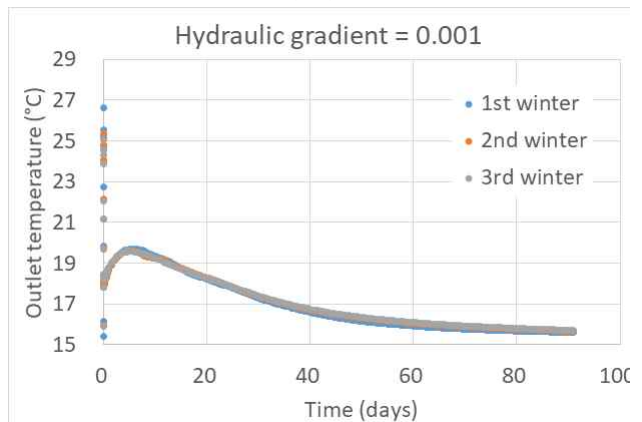
(가)



(나)



(다)



(라)

그림 2-4-2-9. 수두구배 차이와 축열에 따른 양수된 지하수의 온도 변화: (가) 여름, 수두구배 0.01, (나) 여름, 수두구배 0.001, (다) 겨울, 수두구배 0.01, (라) 겨울, 수두구배 0.001

표 2-4-2-4. 수두구배 차이와 축열에 따른 양수된 지하수의 평균 온도

계절	여름 (냉방시즌)		겨울 (난방시즌)		
	수두구배	0.01	0.001	0.01	0.001
1st		15.30℃	15.30℃	16.81℃	16.91℃
2nd		13.83℃	13.36℃	16.80℃	16.99℃
3rd		13.53℃	13.03℃	16.82℃	17.01℃

- 현장의 지열공을 제외한 주위 관정에서의 지하수 사용 및 강우에 의한 영향 및 지표 온도 변화에 의한 영향을 아직 반영하지 않았으므로 이에 대한 추가적인 반영이 향후 연구를 통해 수행될 예정임

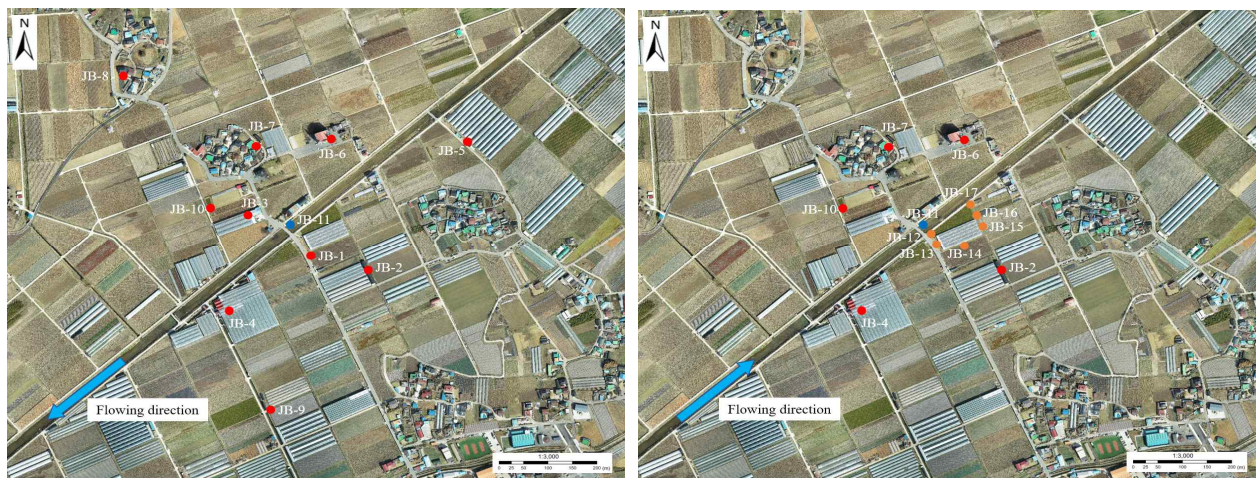
### (3) 대수층 수질 분석 및 환경성 평가

#### ① 대수층 계간축열(ATES) 실증지 주위의 천부지하수 수질특성 이해

- 갈수기에 해당하는 2021년 3월 ATES관정 설치 전 지하수 샘플 10개, 지표수 샘플 1개 채수, ATES 관정 설치 이후 10월 지하수 샘플 11개, 지표수 샘플 1개 채수 (아래 그림 2-4-2-10. 참고)
- 연구지역의 10년간(2010년~2019년) 평균 기온은 13.8 ℃로 관측되었으나, 지하수 샘플의 수온은 3월에 평균 15.1 ℃, 10월에 평균 19.6 ℃로 상당히 높게 나타남

#### ② 대수층 수질 분석 및 환경성 평가

- ATES 관정은 실증부지에 200 m 심도로 균일하게 설치하였으며, 해당관정 가동에 따른 수리화학적 영향을 판단하기 위하여 직선상 약 180 m 떨어진 100 m 심도 관정과 약 20 m 심도 이내의 천부대수층 관정을 대상으로 이온분석 수행 (아래 그림 2-4-2-11. 참고)
- 관정을 설치하기 전 연구부지의 배경수질 조사를 수행. 대부분 Ca-HCO<sub>3</sub>의 천부지하수 수질유형을 보이며, 100 m 심도 관정은 상대적으로 Na와 Mg비율이 높게 나타나는 것이 확인됨
- 비닐하우스 안이나 농지 옆에서 채수한 지하수는 Cl과 SO<sub>4</sub>의 비율이 상대적으로 높게 관찰됨

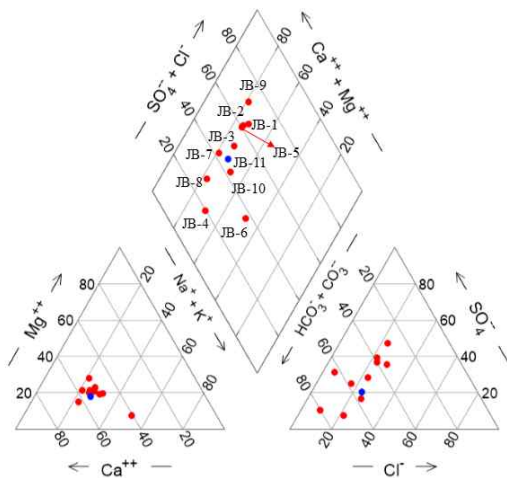


(가)

(나)

그림 2-4-2-10. 연구부지 주변 지표수 및 지하수의 채수지점: (가) 2021년 봄 채수지점(관정 설치 전, 3월), (나) 2021년 가을 채수지점(관정 설치 후, 10월)





(가)



(나)

그림 2-4-2-11. 완주군 1차 조사시기 지표수 및 지하수의 이온분포: (가) 파이퍼 다이어그램 수질유형, (나) 공간적 수질분포와 총용존고형물

③ 자연적/인위적 오염 가능성에 대한 지시인자

- 3월 조사결과, 심부대수층 (100 m 관정)은 불소이온 농도가 3.32 mg/L로 높게 측정되었으며 이는 기반암의 조암광물로부터 용출된 것으로 판단된다. 질산성 질소는 검출되지 않아, 천부지하수의 혼입 없이 관정이 잘 보존된 것으로 여겨짐
- 천부지하수의 경우 질산성질소의 음용수질기준을 모두 만족하였으나, 총대장균군의 기준은 일부 샘플이 넘어서는 것으로 분석됨. 오염의 경로가 길지 않을 것으로 여겨지며 주변에 분변성 오염원이 존재하는지 검토가 필요할 것으로 판단됨
- 10월 관정설치 이후, ATES 관정의 가동에 따른 주변 수체와 혼합정도 및 수리화학적 영향평가를 위해 연구지역을 방문 (아래 그림 2-4-2-12. 참고)
- 관정에 펌프가 설치되어 있지 않아 베일러를 사용하여 25 m심도에서 균일하게 채수하였으며, ATES-5, 6번 관정의 지하수 채수 시 추가 수질 조사가 필요한 것으로 판단 → 산화환원 조건의 변화에 따른 일시적인 형상이 아니라면, 차후 용존유기물 분석이 필요. 천부지하수 이므로 굴착 이전에 존재하던 유기성분의 영향일 수도 있음

④ 연구부지 ATES 가동 시나리오

- 배경수질 조건에서 ATES 가동을 한다고 가정하였을 때, 대상부지 주변의 관정이 수온상승에 의해 폐색될 가능성이 있는지에 관한 수리화학 모델링 수행 (아래 그림 2-4-2-13. 참고)



(가)



(나)

그림 2-4-2-12. 완주군 2차 조사시기 ATES 대상 관정의 현장자료: (가) 베일러를 활용한 ATES관정 채수, (나) ATES-4, 5번 관정의 천부지하수 상태

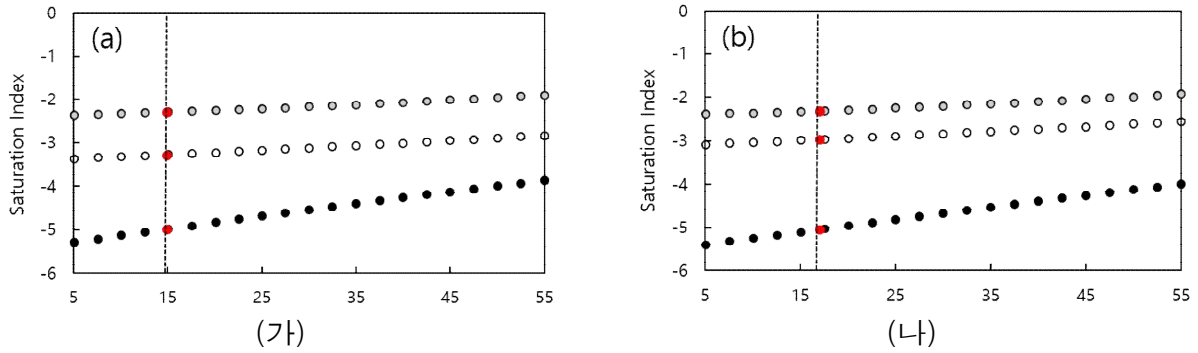


그림 2-4-2-13. 완주군 대상부지 내 관정의 온도변화에 따른 탄산염 포화도 변화, 가로축은 수온: (가) JB-1, (나) JB-2

- 연구지역은 Ca와 Mg 이온농도가 상대적으로 높은 편이며 HCO<sub>3</sub> 역시 주요 수질인자로 분석되었으므로 탄산염 광물의 용해 혹은 침전 가능성을 계산하였고 Fe과 Mn은 거의 관찰되지 않아 제외함
- 수온변화에 따른 탄산염 침전은 배경수질에서는 크게 문제되지 않을 것으로 여겨짐

#### (4) 실증지 온도 수위 모니터링 장치 설치 및 해석

##### ① 계간축열 실증지 천부지하수의 장기 모니터링

- ATEs 관정 설치 전 설치된 총적층 관정 WJ-03, WJ-04, WJ-05에서 4월 말부터 8월 말까지 수위 및 온도 모니터링을 실시하였으며 현재도 자료를 지속적으로 모니터링하고 있음 (아래 그림 2-4-2-14. 참고)
- 하우스 서쪽에 설치된 WJ-03 관정에서는 지표하 1.0 m~1.8 m 범위의 지하수위 변동을 보이고 있으며 온도는 14 °C~16 °C 범위를 유지하고 있음 (아래 그림 2-4-2-15. 참고)
- 하우스 동쪽에 설치된 WJ-04 관정에서는 지표하 0.6 m~1.2 m 범위의 지하수위 변동을 나타내며 온도는 14 °C~16 °C 범위를 유지하지만 양수에 의한 온도변화가 나타남



(가)



(나)

그림 2-4-2-14. ATEs 대상 모니터링 관정의 지하수위 및 온도 측정장치 및 측정위치: (가) 수위-온도 모니터링 측정기, (나) 모니터링 측정기 설치 위치

- WJ-05 관정에서는 지표하 0.8 m~1.4 m 범위의 지하수위를 나타내며 WJ-04 관정과 동일한 패턴으로 변동하며, 온도는 16 °C~18 °C 범위로 관찰되어 다른 관정보다 높게 나타남
- 강수와 수문의 개폐에 의한 수위 영향을 받는 변동성을 보임

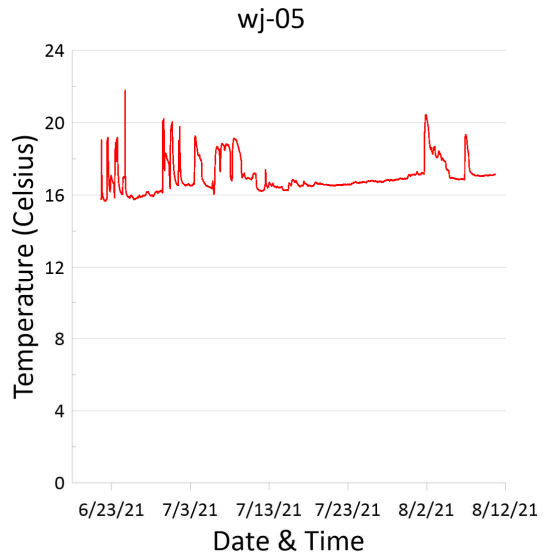
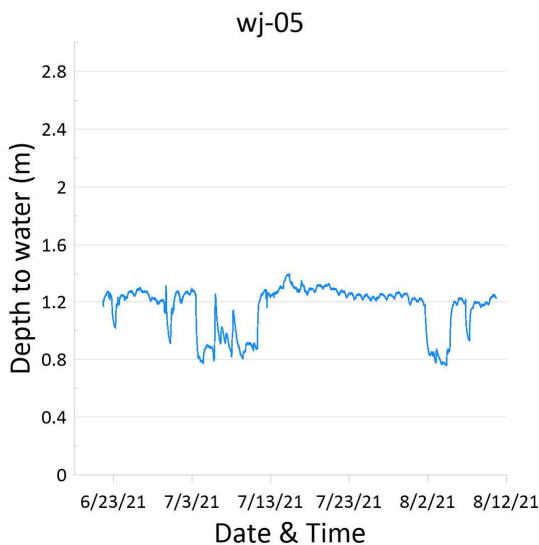
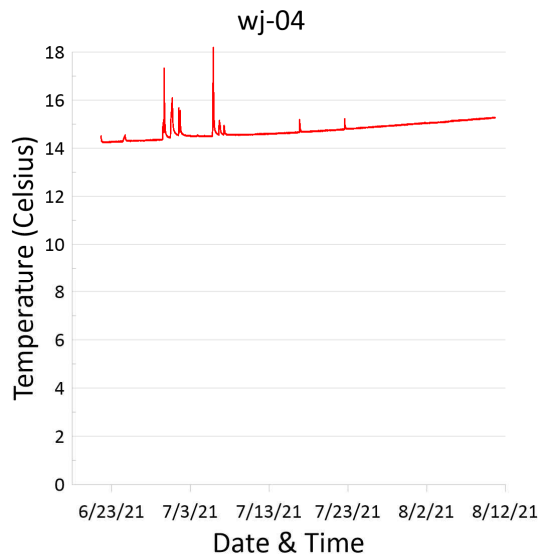
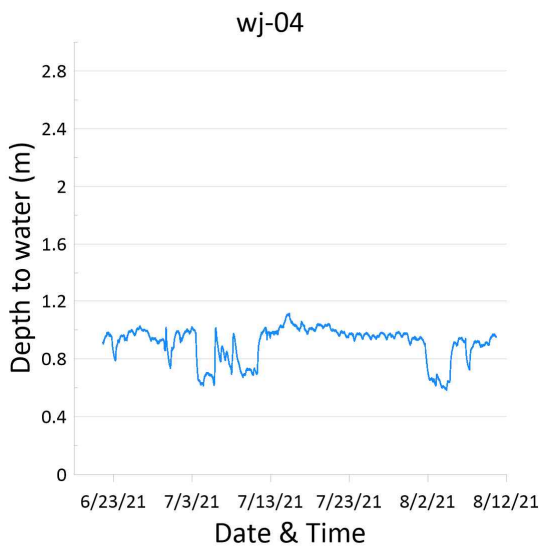
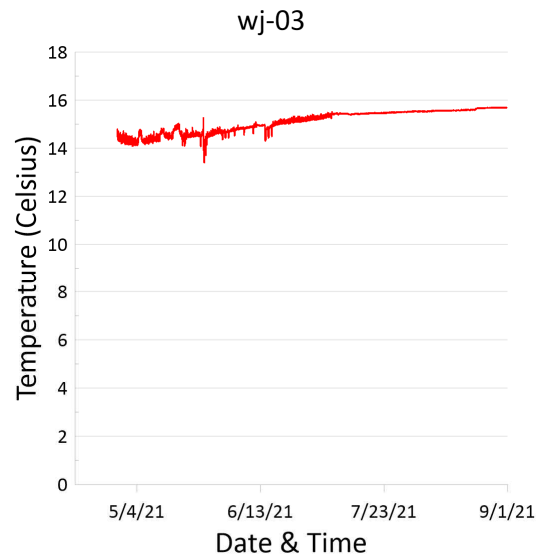
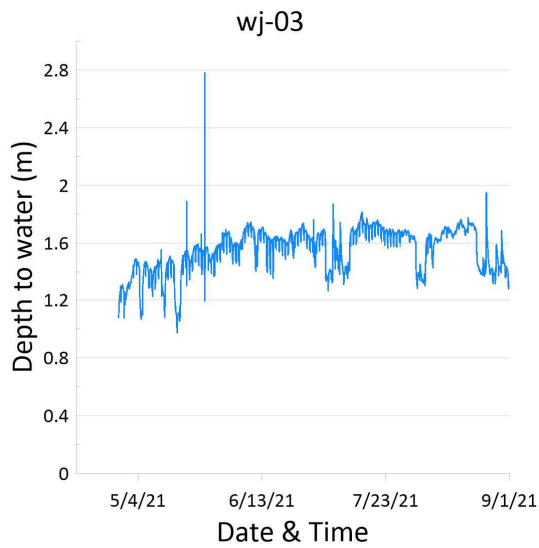


그림 2-4-2-15. WJ-03, WJ-04, WJ-05 ATEs 모니터링 관정의 지하수위 및 온도 현장 자료



표 2-4-2-5. 발전원별 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 환산 배출량 비교 (출처: 전력거래소, 2021)

발전원	석탄	석유	천연 가스	바이오 매스	태양광	풍력	원자력	수력
배출량 (ton-CO <sub>2,eq.</sub> /MWh)	0.991	0.782	0.549	0.070	0.057	0.014	0.010	0.008

표 2-4-2-6. 국내 전력생산 에너지원별 비율 (출처: 전력거래소, 2021)

구분		원자력	석탄	가스	신재생	유류	양수	기타	계
2019 (년)	발전량 (GWh)	145,910	227,384	144,355	36,392	3,292	2,458	2,249	563,040
	비중 (%)	25.9	40.4	25.6	6.5	0.6	0.6	0.4	100
2020 (년)	발전량 (GWh)	160,184	196,489	145,966	37,804	2,282	3,271	6,169	552,165
	비중 (%)	29.0	35.6	26.4	6.8	0.4	0.6	1.1	100
증감량 (GWh)		14,274	-30,895	1,611	1,412	-1,010	-187	3,920	-10,875
증감율 (%)		9.8	-13.6	1.1	3.9	-30.7	-5.4	174.3	-1.9

### (5) 실증온실 융복합 에너지원 적용에 따른 탄소중립 효과

#### ① 대수층 계간축열(ATES) 온실가스 저감 효과 (등유 대체 등에 따른)

- 국내 전력은 다양한 에너지원에 의해 생산되고 있으며 최근 전력 사용량에 대한 온실가스 배출계수는 0.46 ton-CO<sub>2,eq.</sub>/MWh 임 (표 2-4-2-5. 참고)
  - 국내 발전비율은 석탄 36%, 원자력 29%, 가스 26% 및 신재생 6.8% 등으로 이루어져 있으므로 석탄발전에 의한 온실가스 배출이 아직 많은 부분을 차지하고 있음 (표 2-4-2-6. 참고)
  - 일반적으로 ATES 시스템도 수중펌프 동력이 추가되지만 지열히트펌프와 유사한 방식으로 효율을 가정하여 평가할 수 있음
  - ATES 시스템 가동으로 온실가스 저감량은 유럽에서 일반적으로 난방위주로 이용하는 지역에서 20% (SPF 3) ~ 40% (SPF 4)이며 원자력과 수력이 우세한 나라들인 벨기에 (Belgium), 프랑스(France), 스위스(Switzerland) 등에서는 60%~80% 정도의 효과를 나타낸다고 알려져 있음 (그림 2-4-2-16. 참고)
- [출처: P Bayer, D Saner, S Bolay, L Rybach, P Blum (2012) Greenhouse gas emission savings of ground source heat pump systems in Europe: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 16, no. 2, pp. 1256-1267]
- 본 연구에서는 국내실정에 적합한 ATES 운영에 따른 온실가스 감축량을 측정하기 위해서는 추가적인 연구가 필요함
  - 아래는 독일사례를 나타낸 것으로 온실가스 발생량이 유류난방일 경우 0.319 ton-CO<sub>2,eq.</sub>/MWh 이며 ATES 활용시 0.083 ton-CO<sub>2,eq.</sub>/MWh 까지 낮아져 약 74% 가량 감소 효과를 보임

[출처: R Stemmler, P Blum, S Schüppler, P Fleuchaus, M Limoges, P Bayer, K Menberg, (2021) Environmental impacts of aquifer thermal energy storage (ATES), Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 151, p. 111560]

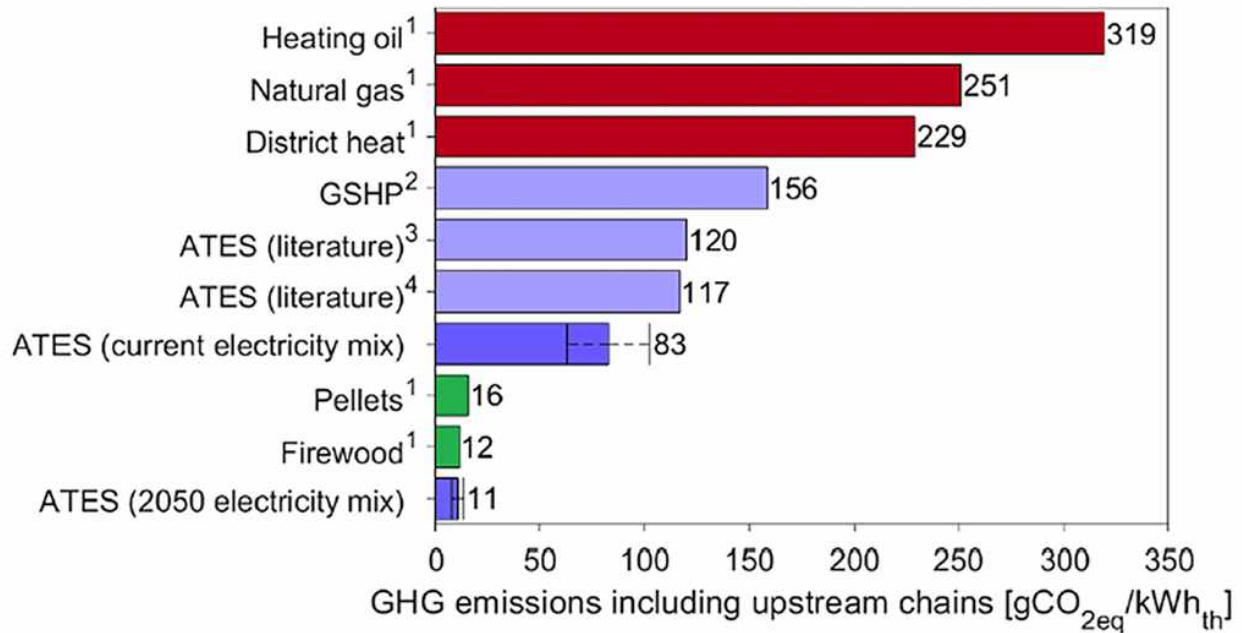


그림 2-4-2-16. 에너지원별 온실가스 발생량 비교 (출처: R Stemmler, RSER, 2021)

② 한국에너지공단 배출량 자동 계산법

- 이산화탄소배출량 (단위: ton-CO<sub>2,eq</sub>/yr)
  - = 전력사용량 (단위: MWh/yr) × 배출계수 (단위: ton-CO<sub>2,eq</sub>/MWh)
  - = 30.043 MWh/yr × 0.46 ton-CO<sub>2,eq</sub>/MWh
  - = 13.802 ton-CO<sub>2,eq</sub>/yr
- 온실가스 배출계수(2011년 기준): 0.46 ton-CO<sub>2,eq</sub>/MWh

③ 에너지진단 산출법

- 석유환산톤
  - = 전력사용량 (단위: MWh/yr) × 전력(소비기준) 석유환산계수 (단위: TOE/MWh)
  - = 30.043 MWh/yr × 0.229 TOE/MWh
  - = 6.88 TOE/yr
- 전력(소비기준) 석유환산계수: 0.229 TOE/MWh
- 탄소배출량 (단위: ton-CO<sub>2,eq</sub>/yr)
  - = 전력사용량 (단위: ton-CO<sub>2,eq</sub>/yr) × 전력 탄소배출계수
  - = 30.043 MWh/yr × 0.125 ton-CO<sub>2,eq</sub>/MWh
  - = 3.76 ton-CO<sub>2,eq</sub>/yr
- 전력 탄소배출계수: 0.125 ton-CO<sub>2,eq</sub>/MWh
- 이산화탄소배출량 (단위: ton-CO<sub>2,eq</sub>/yr)
  - = 탄소배출량 (단위: ton-CO<sub>2,eq</sub>/yr) × (이산화탄소 분자량/탄소분자량)
  - = 3.76 ton-CO<sub>2,eq</sub>/yr × (44/12) CO<sub>2,eq</sub>/C
  - = 13.79 ton-CO<sub>2,eq</sub>/yr

[협동기관] ㈜지엔에스엔지니어링 (기관별 핵심성과 위주 10쪽 이내 작성)

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용	연구결과
1단계 2차 년도 (2021)	대수층 계간축열 에너지 생산 및 저장 실증모델 개발	계간축열(ATES) 지열공 및 시설원에 열생산 시스템 설치	○시험천공을 통한 지중 열교환기 열용량 평가	○대상지역 시험정 구축 및 대수성 시험을 통해 열용량 평가
			○지중 열교환기 구축	○지열공 구축을 통한 냉온수지역 설계 및 구축
			○지중 열교환기 온도 모니터링	○지중온도 모니터링을 통한 초기 지중 온도 측정 및 검토
			○지열정 유지보수 기술 현황조사 및 검토	○국내외 지하수 유지보수기술 현황 조사 및 검토
			○계간축열(ATES) 지열공의 효율성 유지를 위한 최적유지관리 기술 개발	○계간축열 시스템에 적합한 지열정 유지관리 기술 선정

(1) 시험천공을 통한 지중 열교환기 열용량 평가

① 실증부지 일반사항

- 실증부지는 전라북도 완주군 봉동읍 장거리 1187 일원으로 선정
- 실증온실은 1,000 평 규모 연동온실로 화훼 재배
- 입지조건 고려: 대수층 계간축열(ATES) + 수열원(하천수) + 목재 펠릿
- 밀폐된 대수층: 1 m 내외로 성능향상에 불리함
- 총적층 두께: 10 m 내외로 조금 부족함
- 지하수 오염: 수문학적 영향범위 내에 지하수의 오염위험시설은 없으나, 화훼 재배 시 발생하는 오염물질 야적
- 현장 환경 조건: 온실주변 작업공간은 최대 6공의 ATES시스템 지열공 배치 가능

② 실증부지 지형 및 지질

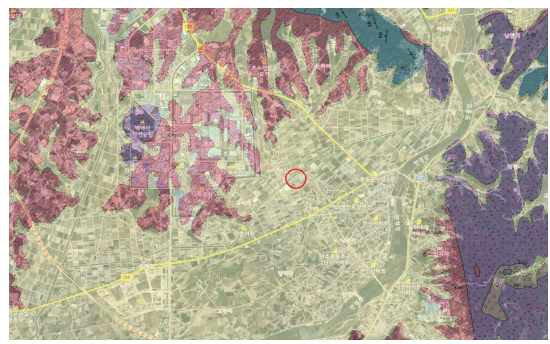
- **(지형 개요)** 본 실증부지는 완주군청을 중심으로 북서쪽 약 5 km 지점에 위치하며, 서쪽은 익산시, 남쪽은 전주시에 인접함 (아래 그림 2-4-3-2. 참고)



그림 2-4-3-1. 실증부지 범위: 전라북도 완주군 장거리 1187번지 소재 청운flower



(가)



(나)

그림 2-4-3-2. 전라북도 완주군 소재 실증온실 부근 (가) 지형도 및 (나) 지질도

- 산계는 동쪽에 천등산(554 m)이 남북방향으로 발달하여 있으며, 사업지구 인근지역은 표고 20 m 정도의 평탄한 산업지구 및 농업지역이 넓게 분포됨
- 수계는 북동쪽으로 우산천강이 만경강을 통하여 김재와 군산을 거쳐 해안으로 유출됨
- 교통현황은 남과 북쪽으로 호남고속도로가 있고 남쪽으로 익산포항고속도로가 위치함
- **(지질 개요)** 지표지질 현황은 한구지질자원연구원 지질정보서비스시스템(1:50,000)을 참고함 (위 그림 2-4-3-2. 참고)
- 신생대 제4기 응토사 자갈, 중생대 백악기 경상계 불국사층군 편상 화강암, 석영반암으로 구성
- 총적층은 지역 내 모든 앞선 시기의 암층들을 부정합으로 덮고 있으며, 신생대 제4기의 미고결된 하성층과 총적층으로 주로 모래, 자갈, 점토 등으로 구성

③ 실증부지 수리지질학적 정밀특성 조사

- **(전기비저항탐사 개요)** 시추조사를 시행하기 전 실증부지의 지하 지질구조, 단층, 파쇄대 및 지하수 등의 분포를 확인하기 위해 실행함
- 전기비저항탐사는 현장여건을 고려하여 아래 그림 2-4-3-3.과 같이 3측선으로 측정하여 실증부지의 지하 지질구조, 지하수 및 기반암 추정 등의 자료를 취득하여 시추조사를 위한 기본 자료를 취득함
- **(전기비저항탐사 결과)** (아래 그림 2-4-3-4. 참고)
- 각 측선은 전극을 6 m간격으로 설정하여, 심도 30 m까지 탐사함
- R-1측선은 85.1 Ohm-m~787 Ohm-m, R-2측선은 91.9 Ohm-m~852 Ohm-m, R-3측선은 5.60 Ohm-m~650 Ohm-m으로 비저항 값의 분포를 보임

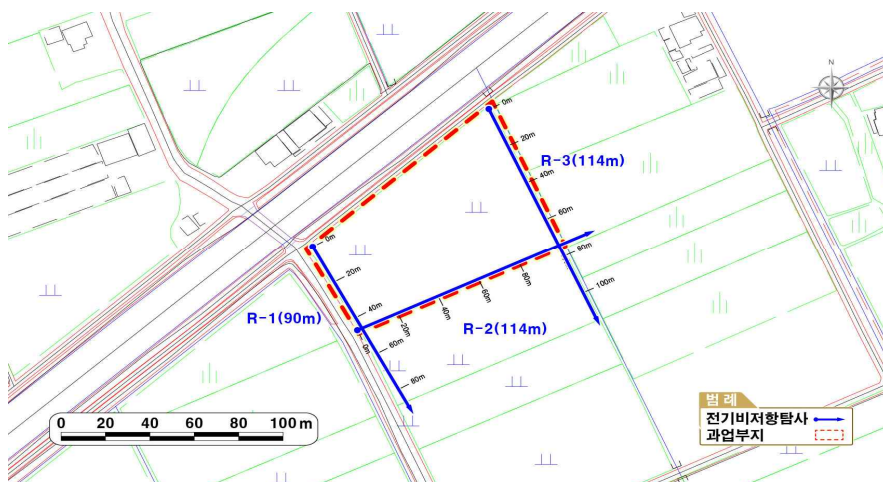
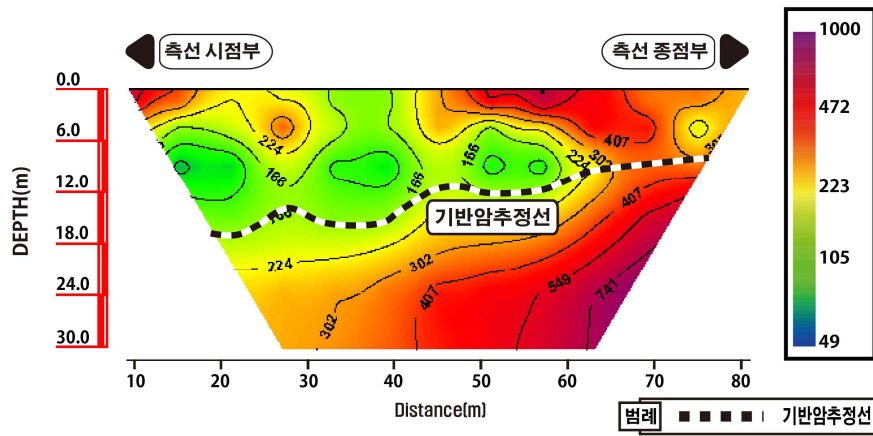
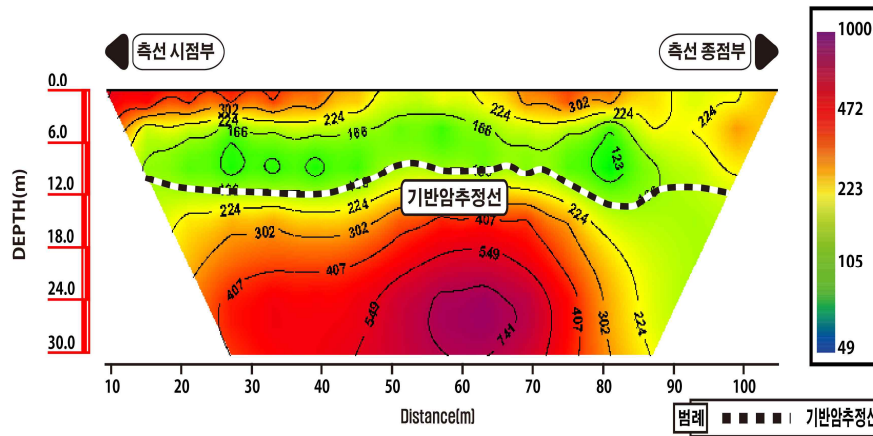


그림 2-4-3-3. 측선위치도

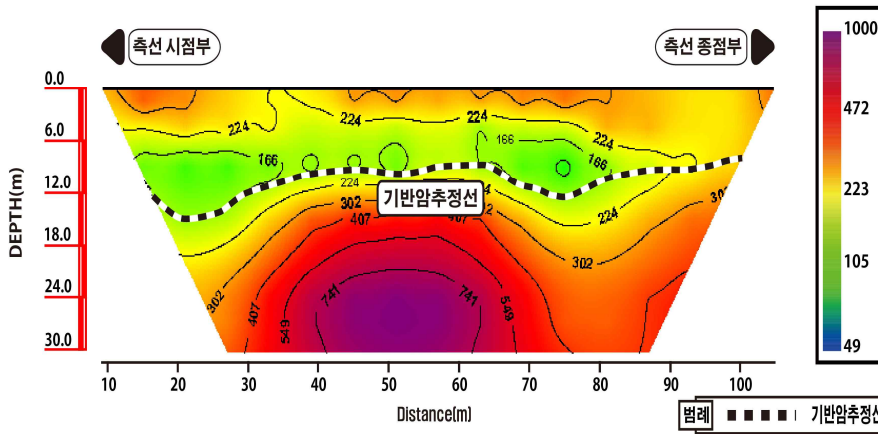




(가)



(나)



(다)

그림 2-4-3-4. 측선 별 전기비저항탐사: (가) R-1측선 해석 결과, (나) R-2측선 해석 결과, (다) R-3측선 해석 결과

- 기반암 추세는 지열정이 위치될 R-1, R-3측선을 중심으로 고려하였을 때 약 9~14 m 구간에 나타날 것으로 탐사되었음
- **(시추조사 개요)** 전기비저항탐사 해석 결과와 충분한 총적지하수 열원을 확보하기 위해 온실을 중심으로 지열정 설치 가능지역을 선정하고 냉수와 온수의 저장성을 고려하여 온실을 중심으로 북동쪽과 남서쪽에 온수정과 냉수정을 배치하는 것이 가장 유리함
- 지열정 배치는 이격거리 최소 20 m를 기준으로 결정하고, 지열정에서 이격거리 1 m 지점에서 지열정 설치에 필요한 지하 지질구조와 지질상태를 조사하기 위해 진행하였음.
- 시추조사는 온실을 중심으로 일정한 간격으로 조사하는 것으로 계획하였으나, 현장여건 (농업폐기물 및 작물재배 등)으로 인해 아래 그림 2-4-3-5.와 같이 시추조사를 실시함



그림 2-4-3-5. 시추조사 위치도

- **(시추조사 결과)** 시추조사는 지열정(온실을 중심으로 북동쪽 3공, 남서쪽에 3공 구축)에 정 위치 주변을 기준으로 계획하였으나, 북쪽지점은 작물재배 중으로 진입이 불가하였으며, 남서쪽 지역은 농업폐기물과 지작물로 인해 계획된 위치를 수정함
- 시추조사 결과 지층구조는 크게 전답토층, 퇴적층, 풍화토, 풍화암등으로 구분되며, 동쪽단면은 남쪽은 상대적으로 층적층 깊이가 얇고 북쪽으로 갈수록 깊어지는 지형이며, 서쪽단면은 남쪽으로 갈수록 깊어지는 지형을 가짐
- 시추지점의 지층구조는 상부 약 1.5 m까지 전답토, 1.5 m~5 m는 퇴적층, 5 m~13 m는 풍화토 및 풍화암으로 구성되었음.(아래 그림 2-4-3-6. 참고)
- 시추조사 결과에 따르면 기반암선은 약 6~13 m로 층적층 및 층적대수층은 3~4 m의 두께를 가지며 모래 및 자갈로 구성됨
- 풍화토 및 풍화암은 1~6 m의 두께로 조사되었으며, 중세립질 모래로 구성됨
- 계간축열(ATES) 시스템에서 사용가능한 지층은 지표에서 약 4~5 m 깊이의 모래·자갈층이 발달된 층으로 전체 대상부지에서 1 m내외로 지열원 확보와 축열공간 확보에 어려움이 있음

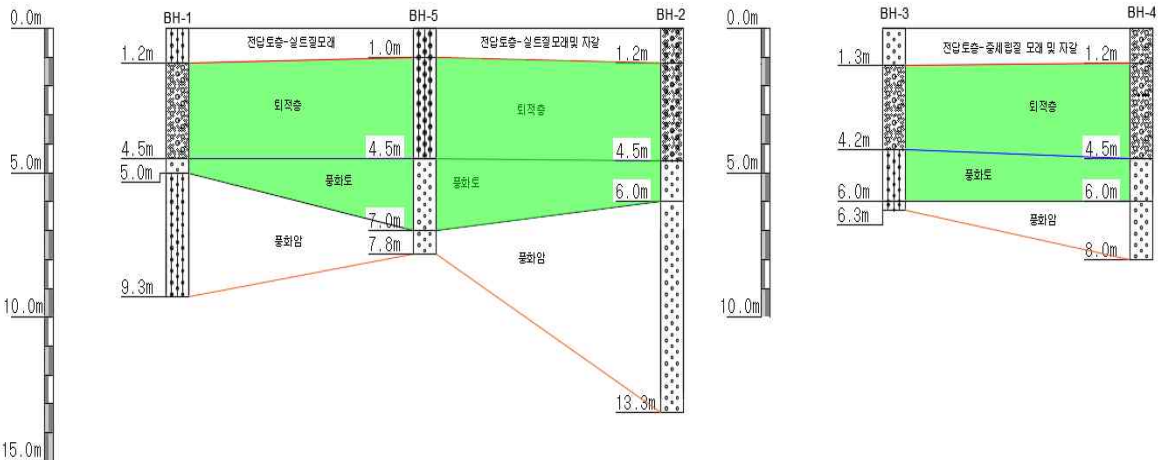


그림 2-4-3-6. 지층 단면도

표 2-4-3-1. 시추조사 및 현장투수시험 결과

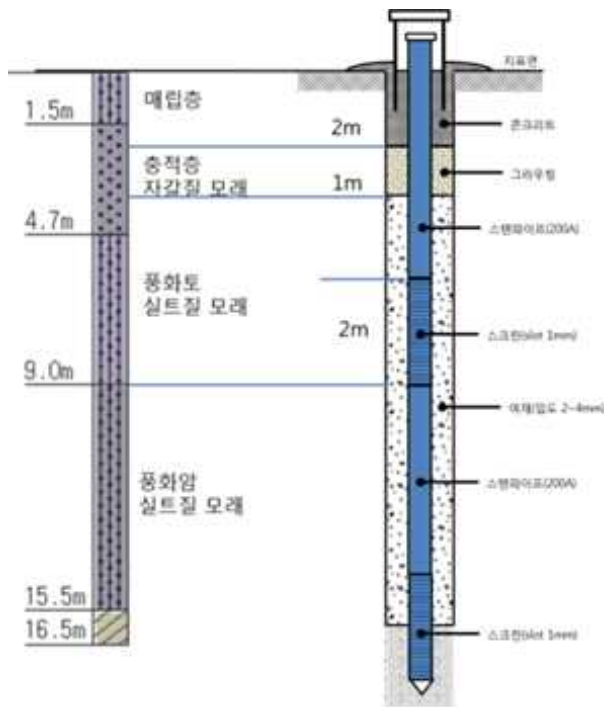
공 번	지층	심도 (m)	층후 (m)	구성성분	N값	투수계수(cm/s)
BH-1	전답토	0.0~1.2	1.2	실트질 모래	3/30	
	퇴적층	1.2~4.5	3.3	자갈질 모래	31/30	
	풍화토	4.5~5.0	0.5	실트질 모래	50/10	
	풍화암	5.0~9.3	3.3	실트질 조립모래	50/8	2.38E-04
	연암	9.3~		기 반 암	-	
BH-2	전답토층	0.0~1.2	1.2	중세립질 모래 및 자갈	6/30	
	퇴적층	1.2~4.5	3.3	중세립질 모래 자갈	39/30	
	풍화토	4.5~6.0	1.5	중세립질 모래	50/12	
	풍화암	6.0~13.3	7.3	중세립질 모래	50/5	1.35E-04
	연암	13.3~		기 반 암	-	
BH-3	전답토층	0.0~1.3	1.3	세립질 모래 및 자갈	6/30	
	퇴적층	1.3~4.2	2.9	중세립질 모래 및 자갈	37/30	
	풍화토	4.2~6.0	1.8	세립질 모래	50/10	
	풍화암	6.0~6.3	0.3	세립질 모래	50/10	-
	연암	6.3~				
BH-4	전답토층	0.0~1.2	1.2	중세립질 모래 및 자갈	5/30	
	퇴적층	1.2~4.5	3.3	모래 및 굵은 강자갈	-	
	풍화토	4.5~6.0	1.5	중세립질 모래	50/12	
	풍화암	6.0~8.0	2.0	중세립질 모래	50/8	1.72E-04
	연암	8.0~				
BH-5	전답토층	0.0~1.0	1.0	중세립질 모래 및 자갈	14/30	
	퇴적층	1.0~4.5	3.5	중세립질 모래 강자갈	30/30	
	풍화토	4.5~7.0	2.5	중세립질 모래	50/13	3.64E-03
	풍화암	7.0~7.8	0.8	중세립질 모래	50/9	
	연암	7.8~				

- 추가적인 대수층을 확인하기 위해 각 지점의 풍화토와 풍화암 경계 지점에서 현장투수시험을 실시함
- 시추조사 시 풍화토와 풍화암의 구성은 실트와 중세립질 모래로 구성되어 지하수 유동이 활발할 것으로 예상하였으나 현장투수시험 결과 저조한 것으로 조사됨
- 따라서 계간축열(ATES) 시스템에서 사용하는 총적대수층과 추가로 암반대수층의 지하수를 이용하는 방법을 지열정 설계에 반영함
- 각 지점별 시추조사 및 현장투수시험결과는 아래 표 2-4-3-1.에 나타내었음
- 각 지점별 시추주상도는 부록에 첨부함

## (2) 계간축열(ATES) 시스템 지중 열교환기 구축

### ① 지중 열교환기 설계

- 국내 적용된 총적대수층 지하수 정호의 일반적인 지하수 양수량은 약 300 ton/day~500 ton/day로 알려져 있고, 국내에 설치된 계간축열(ATES) 시스템의 지열정의 경우도 비슷한 경향을 보임
- 그러나 본 실증부지의 경우 총적층 두께가 얇고 주대수층이 지표에서 4 m~5 m 깊이에 위치하는 것으로 조사되어 기존의 시설(지하수 정호 및 계간축열 지열정)과 비교하면 총적대수층 두께와 총적층 구조 및 성분 등에서 기존 시설에 비해 나쁜 조건임



- 총적층 대상
  - 굴착 심도 : 10 m 내외
  - 굴착 관경 : Ø450 mm
  - 케이싱 설치
    - 내부케이싱 Ø200 mm(STS 304)
    - 외부케이싱 Ø400 mm(흑관)
  - 스크린 설치
    - 스테인리스(와이어 스크린)
    - 관경 : Ø200 mm
    - 설치 길이 : 2 m~4 m
    - SLOT : 1 mm
  - 여재설치
    - 입도 : 2 mm~5 mm
    - 설치 두께 : 100 mm
    - 설치 길이 : 10 m내외
- 암반층 대상
  - 굴착 심도 : 총적층 끝 ~ 100 m까지
  - 굴착 관경 : Ø200 mm

그림 2-4-3-7. 총적대수층 지열정(집수/함양) 개략도 및 설치사양

- 실증부지의 수리지질학 조건은 100 RT(0.3 ha)급 냉난방시설의 지열원수를 확보하기 위해서 불리한 조건임
- 냉난방시설 지열원수를 확보하기 위해 실증부지에 최대한의 지중 열교환기를 설치하고, 총적대수층과 암반대수층을 동시에 이용할 수 있도록 총적층과 암반층을 동시에 이용할 수 있도록 지중 열교환기(지열정)를 구축하였음
- 지중 열교환기 구조는 총적층과 암반층으로 구분하여 총적층은 지열원 확보와 축열이 가능한 구조로 구축하고, 암반층은 지열원 확보를 보조하는 목적으로 지중 열교환기(지열정)의 길이는 100 m로 설계함
- 지중 열교환기(지열정)은 지층구성 및 작업환경에 따라 변동 가능하며, 스크린 위치는 작업 시 현장에서 설치위치를 결정할 예정임
- 또한 폐열수의 주입성능이 부족할 것으로 판단되어 지중 열교환기의 성능검증 후 축열 목적으로 보조 주입정을 구축할 예정임
- 지중 열교환기(지열정) 개략도 및 설치 사양은 위 그림 2-4-3-7.과 같음

② 지중 열교환기(지열정) 구축

- 지중 열교환기 구축공사는 2021년05월17일에서 2021년06월06일까지 진행되었으며, 총적층은 Ø450 mm로 굴착하고, Ø400 mm 외부 케이싱을 설치하여 공 무너짐을 방지하였음
- 외부케이싱 내부에 Ø200 mm(STS 304 규격사용) 내부케이싱을 설치하고 외부와 내부 케이싱 공간에 2 m~5 m 여재를 충전하여 인공 대수층을 설치하였음
- 암반층은 Ø200 mm로 굴착하여 100 m까지 굴착함





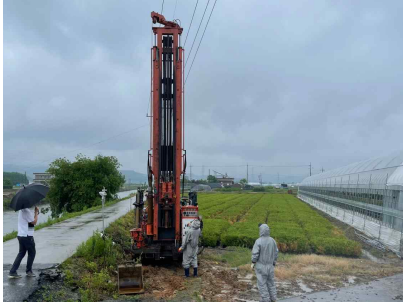
그림 2-4-3-8. 지중 열교환기(지열정) 위치도

- (지중 열교환기 작업순서) (아래 그림 2-4-3-9. 참고)
- Step1 : 작업위치 선정(6공, 위 그림 2-4-3-8. 참고)
- Step2 : 직경 Ø450 mm 퇴적층 굴착(외부케이싱 설치를 위한 굴착)
- Step3 : 직경 Ø400 mm 외부케이싱 설치
- Step4 : 직경 Ø200 mm 암반 굴착
- Step5 : 관정 세정(굴착 시 이물질(암분) 제거)
- Step6 : 총적대수층 구간을 검토하고, 스크린 위치 선정
- Step7 : 스크린이 포함된 내부케이싱 설치
- Step8 : 외부케이싱과 내부케이싱 사이 공간에 여재충진
- Step9 : 외부케이싱 인발 (외부케이싱에 스크린을 가공하여 시공하는 경우가 있으나 대용량시설에는 성능저하와 스크린 크로킹의 주요원인이 됨)
- Step10 : 지중 열교환기 굴착공사 완료

③ 지중 열교환기(지열정) 구축 결과(아래 그림 2-4-3-10. 참고)

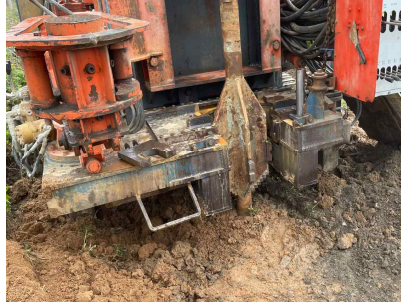
- 지중 열교환기(지열정) 구축은 시추조사 결과를 참고하여, 지층의 형상과 구성을 기본 자료로 현장여건에 맞추어 위치 선정함
- 지중 열교환기(지열정)의 이격거리는 전답지에 영향을 최소화하고, 지하 지작물 및 지상의 구조물(전봇대, 작물폐기물 및 온실시설 등)을 고려하여 선정하였음
- 강도가 약한 풍화암과 연암층까지 직경 Ø450 mm으로 굴착하고 풍화암과 연암층에서 유입되는 토사를 방지하는 직경 Ø400 mm 케이싱을 설치함
- 지중 열교환기(지열정)는 총적층에서 직경 Ø450 mm으로 굴착하고 암반층에서는 직경 Ø200 mm로 굴착하여 총 100 m 깊이로 시공함
- 굴착공사 후 관정 내부에 있는 암분과 이물질을 세정하고 스테인리스 재질의 무공관과 와이어스크린의 위치는 지하수량이 풍부한 총적대수층을 기준으로 내부케이싱을 설치하였음
- 내부와 외부케이싱 사이 공간에 여재를 충전하고, 외부케이싱을 인발하여 지중 열교환기 구축을 완료함

[STEP 1]



(가)

[STEP 2]



(나)

[STEP 3]



(다)

[STEP 4]



(라)

[STEP 5]



(마)

[STEP 6]



(바)

[STEP 7]



(사)

[STEP 8]



(아)

[STEP 9]

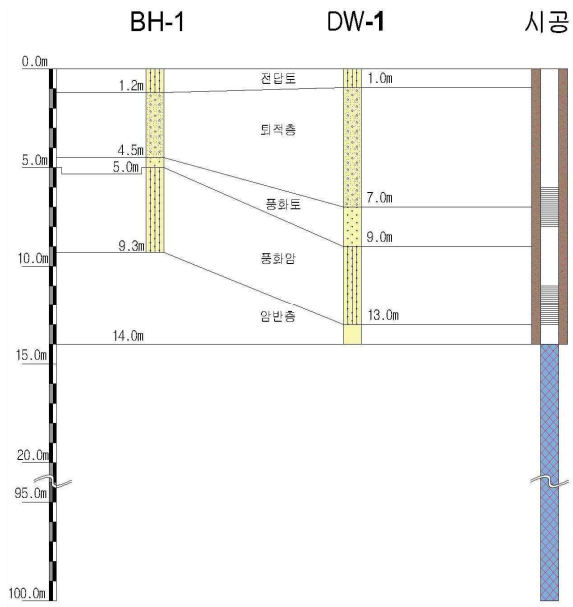


(자)

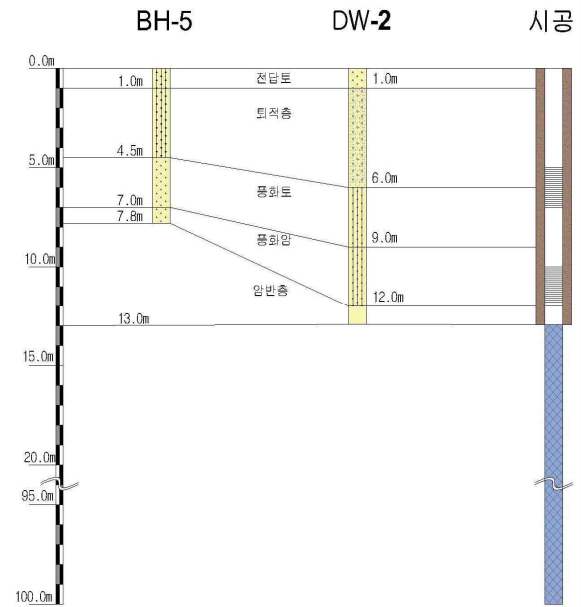
그림 2-4-3-9. 지중 열교환기(지열정) 굴착 작업순서: (가) 위치선정, (나) 케이싱 설치를 위한 굴착, (다) 외부케이싱 설치, (라) 암반 굴착(100 m까지), (마) 관정 세정, (바) 내부케이싱 설치, (사) 여재충진, (아) 외부케이싱 인발, (자) 굴착공사 완료

- 내부와 외부케이싱 사이의 여재층은 충적층의 지하수가 유입되는 통로 역할을 하고, 1차적으로 충적층에 포함되어 있는 실트 및 점토, 오염물질 등이 지중 열교환기(지열정) 내부로 유입되는 것을 방지함
- 아래 그림 2-4-3-10.은 시추조사 결과에서 확인된 지층구조와 구성성분 결과를 나타내었으며, 지중 열교환기(지열정) 설치작업 시 현장에서 조사된 지층구조와 지중 열교환기 시공 결과를 나타낸 것임
- **(DW-1 시공결과)** 지표에서 1.2~6.5 m 구간은 실트질 모래로 구성되어 있으나 충적대수층으로 사용하기에는 지하수량이 부족, 유입되는 실트가 많음, 축열을 위해 폐열수 주입 시 지하수가 지표로 유출될 위험성이 높아 지중 열교환기 내부로 유입되는 것을 방지함
- 충적대수층(자갈층)은 6.5~6.7 m에서 형성되었으며 실트·점토가 우세한 것으로 확인되었음
- 풍화암층 및 기반암 상부(연암) 부분은 토사(실트·모래)가 유입되어, 안전한 암반이 시작되는 13 m까지 충적층과 같이 직경 Ø450 mm로 굴착하고 내부·외부 케이싱을 설치하고, 여재를 충전하였음

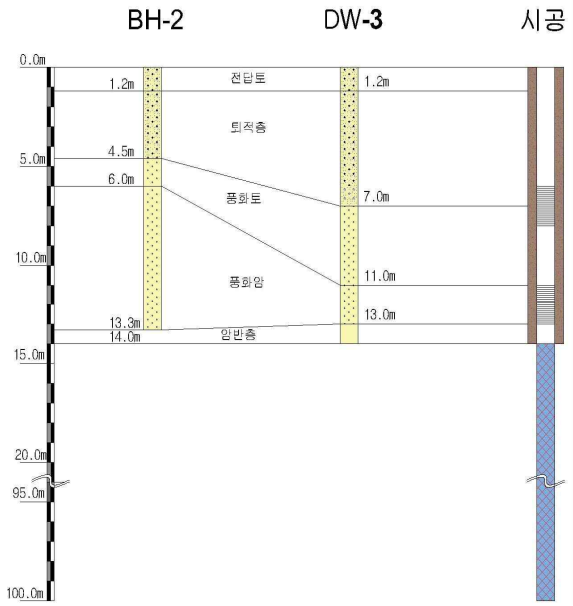




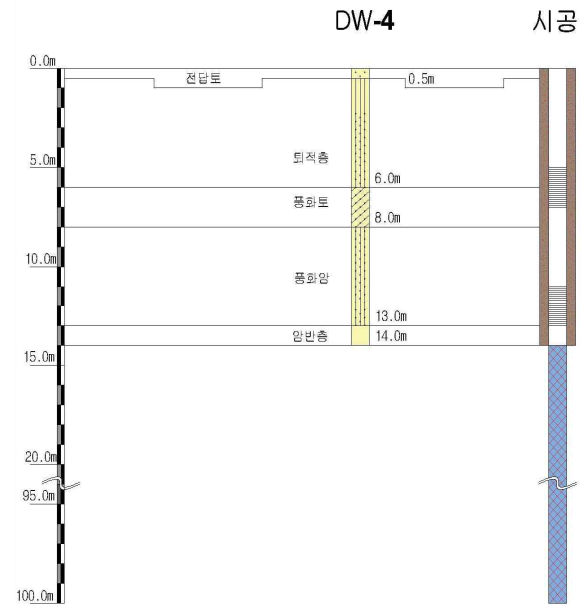
(가)



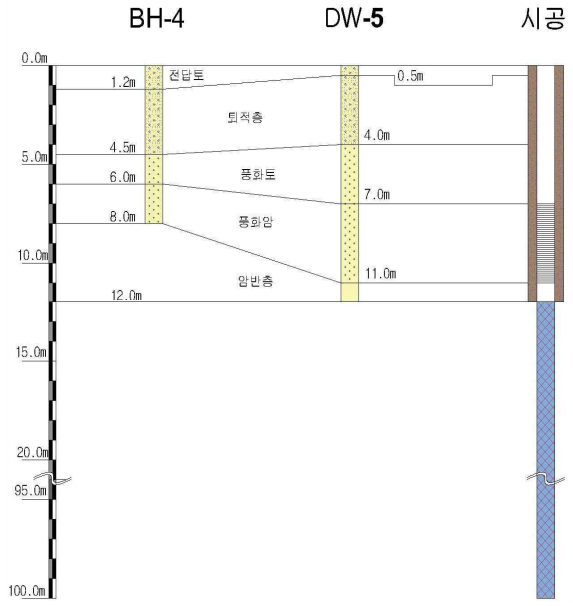
(나)



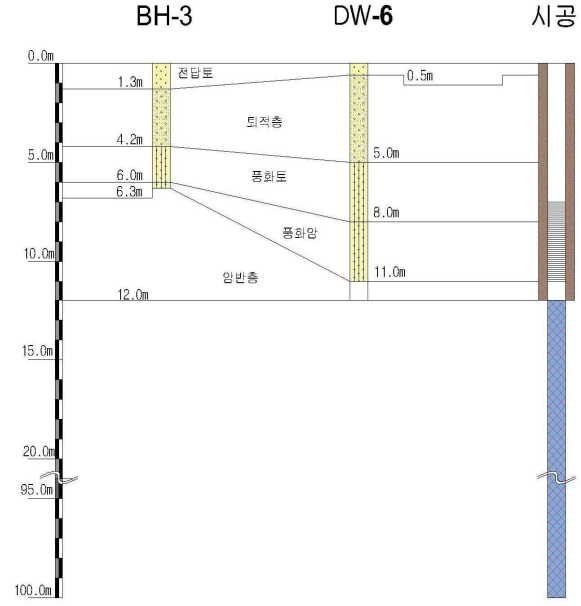
(다)



(라)



(마)



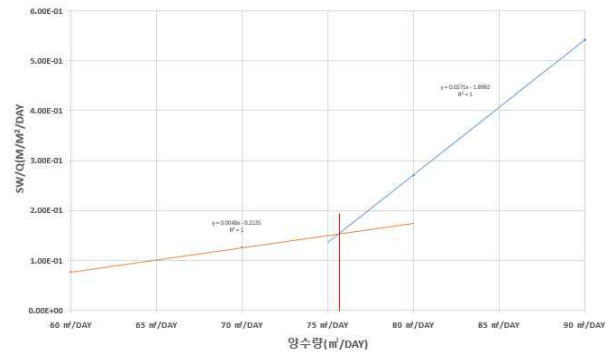
(바)

그림 2-4-3-10. 지중 열교환기 시공 결과: (가) DW-1, (나) DW-2, (다) DW-3, (라) DW-4, (마) DW-5, (바) DW-6

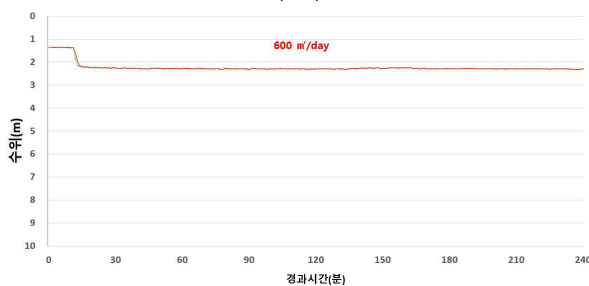
- 내부케이싱은 지표에서 6 m까지 무공관, 6~8 m 와이어스크린, 8~11 m 무공관, 11~13 m 와이어스크린 순서로 구성하여 설치함
- 암반대수층은 47~50 m에서 확인하였으나 지하수량은 작은 것으로 판단됨
- **(DW-2 시공결과)** 지표에서 1.0~5.0 m 구간은 실트질 모래로 구성되어 있고, 총적대수층은 5.0~6.2 m에 형성되어 있으며, 지하수량이 풍부함
- 내부케이싱은 지표에서 ~5 m까지 무공관, 5~7 m 와이어스크린, 7~10 m 무공관, 10~12 m 와이어스크린 순서로 구성하여 설치함
- 암반대수층은 18~27 m, 49~53 m, 83~84 m, 92~95 m에서 확인하였으며, 지하수량 풍부함
- **(DW-3 시공결과)** 지표에서 1.2~6.0 m 구간은 실트질 모래로 구성되어 있고, 총적대수층은 6.0~6.8 m에 형성되어 있으며, 지하수량이 풍부함
- 내부케이싱은 지표에서 6 m까지 무공관, 6~8 m 와이어스크린, 8~11 m 무공관, 11~13 m 와이어스크린 순서로 구성하여 설치함
- 암반대수층은 48~51 m, 94~97 m에서 확인하였으며, 지하수량은 풍부함
- **(DW-4 시공결과)** 작물재배로 인하여 시추조사를 진행하지 못함
- 지표에서 0.5~5.5 m 구간은 실트질 모래로 구성되어 있고, 총적대수층은 5.5~5.8 m에 형성되어 있음
- 내부케이싱은 지표에서 5 m까지 무공관, 5~7 m 와이어스크린, 7~11 m 무공관, 11~13 m 와이어스크린 순서로 구성하여 설치함



(가)



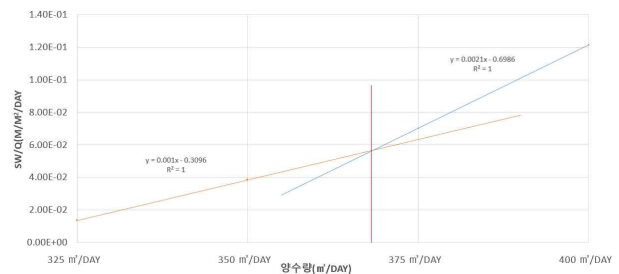
(나)



(다)



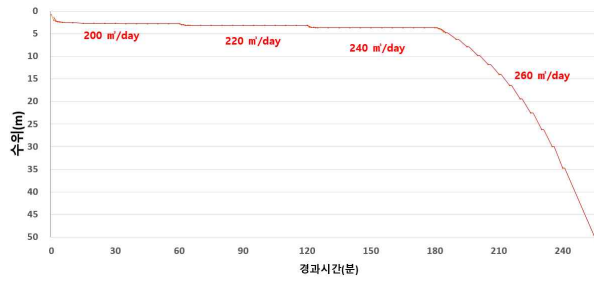
(라)



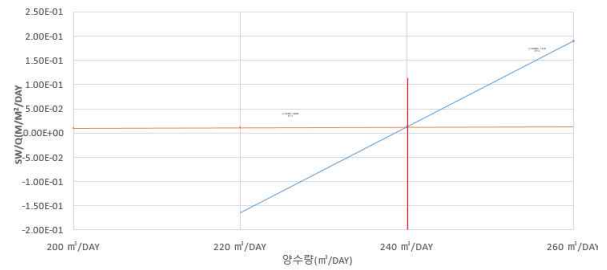
(마)

그림 2-4-3-11. 양수시험 결과#1: (가) BH-1 양수시험, (나) BH-1 적정양수량, (다) BH-2 양수시험, (라) BH-3 양수시험, (마) BH-3 적정양수량

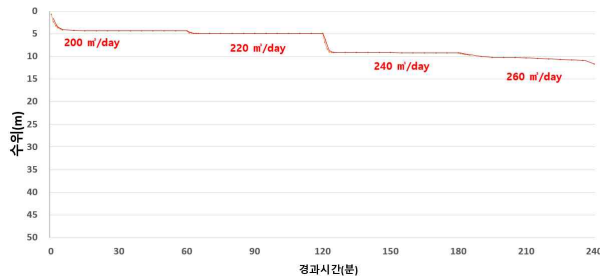




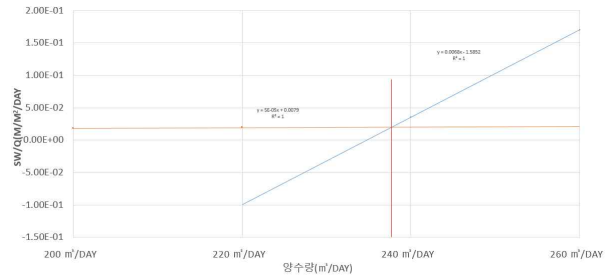
(가)



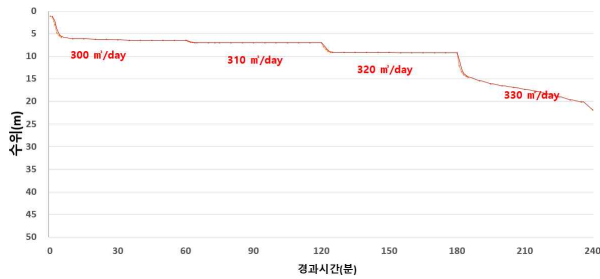
(나)



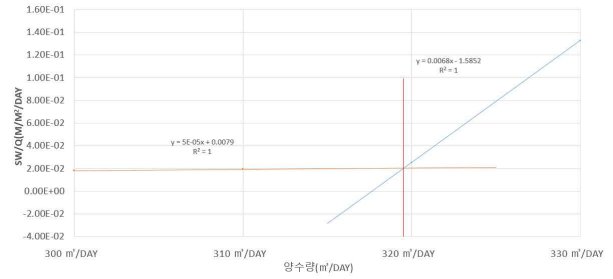
(다)



(라)



(마)



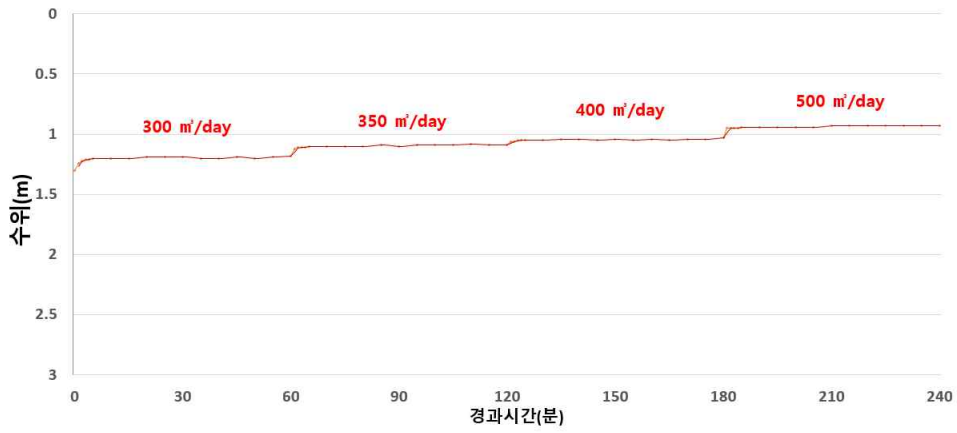
(바)

그림 2-4-3-12. 양수시험 결과#2: (가) BH-4 양수시험, (나) BH-4 적정양수량, (다) BH-5 양수시험, (라) BH-5 적정양수량, (마) BH-6 양수시험, (바) BH-6 적정양수량

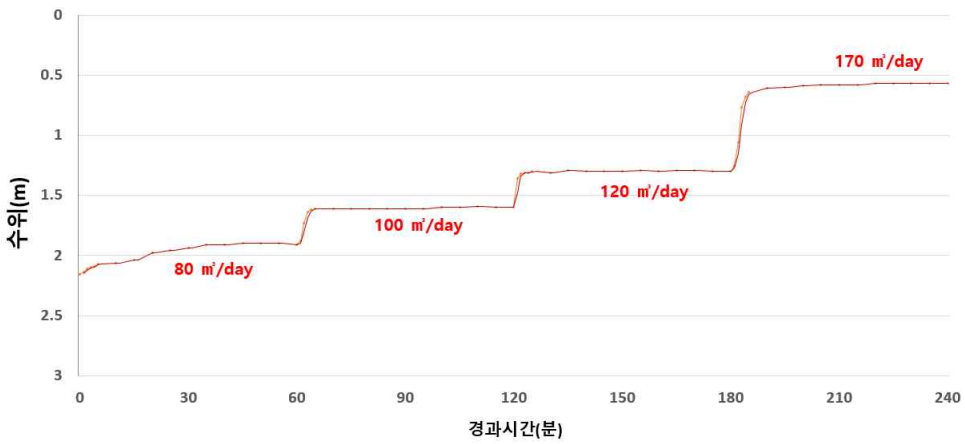
- 암반 굴착 진행하여 32 m~34 m에서 확인
- 암반대수층은 32 m~34 m에서 확인하였으며, 지하수량은 풍부함
- **(DW-5 시공결과)** 이격거리 4 m의 시추조사(BH-4) 결과 참고하였음
- 지표에서 0.5 m~4.0 m 구간은 실트질 모래로 구성되어 별도의 대수층을 확인하지 못함
- 내부케이싱은 지표에서 7 m까지 무공관, 7 m~11 m 와이어스크린 순서로 구성하여 설치함
- 암반대수층은 41 m~44 m에서 확인
- **(DW-6 시공결과)** 이격거리 3 m 시추조사(BH-3) 결과 참고하였음
- DW-5 지중 열교환기 위치의 지질조건과 유사함
- 내부케이싱은 지표에서 7 m까지 무공관, 7 m~11 m 와이어스크린 순서로 구성하여 설치함
- 암반대수층은 39 m~42 m에서 확인

④ 지중 열교환기(지열정) 성능검토

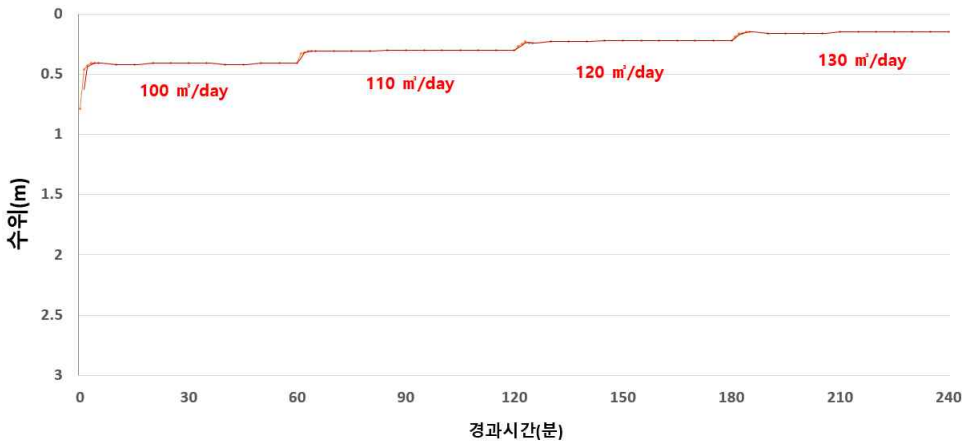
- 지중 열교환기 구축으로 인하여 충분한 충적지하수 열원을 확인하기 위해 성능검사를 진행함
- 수중모터펌프(7.5 HP)를 50 m지점 설치하여 대수성시험(양수시험, 주입시험, 회복시험)을 진행하였고, 그 데이터값을 이용하여 각 지열정의 능력을 확인함
- 대수성시험은 2021년06월01일에서 2021년07월02일 사이에 진행하였고, 6개의 지열공을 대상으로 진행함



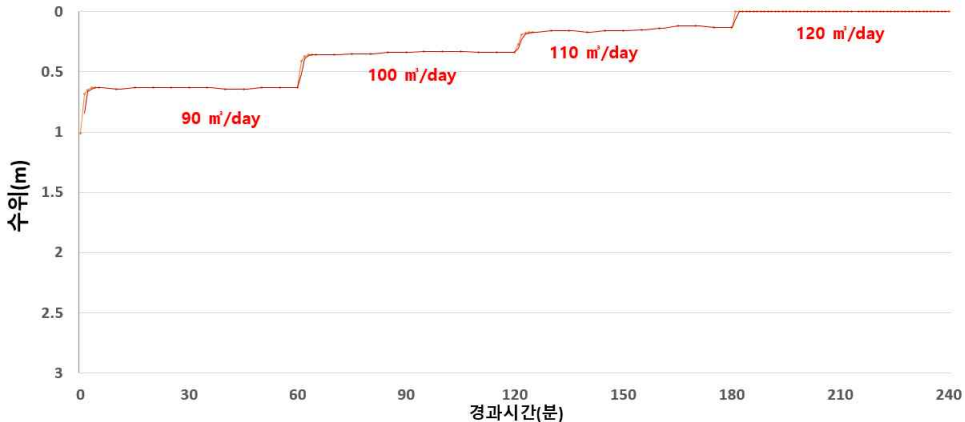
(가)



(나)



(다)



(라)

그림 2-4-3-13. 주입시험 결과: (가) BH-2 주입시험, (나) BH-3 주입시험, (다) BH-4 주입시험, (라) BH-6 주입시험

- **(양수시험 결과)** 양수시험으로 DW-1은 76 m<sup>3</sup>/day, DW-2는 600 m<sup>3</sup>/day 이상의 양수량, DW-3은 365 m<sup>3</sup>/day, DW-4는 240 m<sup>3</sup>/day, DW-5는 235 m<sup>3</sup>/day, DW-6은 300 m<sup>3</sup>/day의 적정양수량으로 판단됨 (위 그림 2-4-3-11. 및 2-4-3-12. 참고)
- **(주입시험 결과)** 주입시험으로 DW-2는 400 m<sup>3</sup>/day 이상의 양수량, DW-3은 170 m<sup>3</sup>/day, DW-4는 130 m<sup>3</sup>/day, DW-6은 110 m<sup>3</sup>/day의 적정주입량으로 판단됨 (위 그림 2-4-3-13. 참고)
- DW-1, DW-5의 주입시험은 수중모터펌프의 양수능력이 높아 주입시험이 불가하였음
- **(회복시험 결과)** 양수시험 시 DW-1과 DW-5를 제외한 나머지 지열공에서는 최소 2분에서 최대 9분 이내로 초기수위를 회복하는 것을 확인함 (아래 그림 2-4-3-14. 참고)
- **(성능검토 결과)** 지중 열교환기는 DW-1~DW-3번과 DW-4~DW-6번공을 분리하여 온수지역과 냉수지역으로 나누어 지열원수를 공급
- 온실을 중심으로 서남지역(DW-1~DW-3)은 충분한 지열원수를 확보한 것으로 판단되며 주입량은 다소 부족한 상태임
- 온실을 중심으로 서남지역(DW-1~DW-3)은 충분한 지열원수를 확보한 것으로 판단되며 주입량은 다소 부족한 상태임
- 따라서 DW-3지점에서 이격거리 5 m~10 m 지점에 DW-3번에 주입되는 폐열수를 주입을 보조할수 있는 보조주입정을 구축할 예정임
- DW-1은 적은 양수량과 주입량 부족으로 지중 열교환기로 사용하기에 어려움이 있어 폐공 혹은 관측공으로 이용 계획임
- DW-2는 양수 및 주입 시험 결과 우수한 성능을 가진 것으로 시험되었으며 DW-3은 일정성능이상의 양수량은 확보되었으나 주입량이 부족한 것으로 시험됨
- 온실을 중심으로 동북지역(DW-4~DW-6)은 다소부족한 지열원수를 확보한 것으로 판단되며, 주입량은 부족한 상태임
- 동북지역의 전체 적정 양수량은 920 m<sup>3</sup>/day로 운전 시 지열원수가 부족할 경우 지하수 회복시간이 빠른 특징을 이용하여 시간 조절 운전방법으로 대처 가능할 것으로 판단됨
- 동북지역의 전체 적정 주입량은 350 m<sup>3</sup>/day로 양수량의 38%가 주입되는 것으로 시험되었으며, 이 지역에는 주입성능향상을 목적으로 보조주입관정을 6공 추가 설치할 예정임

### (3) 지중 열교환기 온도모니터링

#### ① 온도모니터링

- 지중 열교환기의 성능을 확인하기 위하여 지열원의 온도측정이 필요함
- 지열공 별 온도 측정을 시행하였으며, 2021년06월01일부터 2021년09월09일까지 진행하였음 (그림 2-4-3-14. 참고)

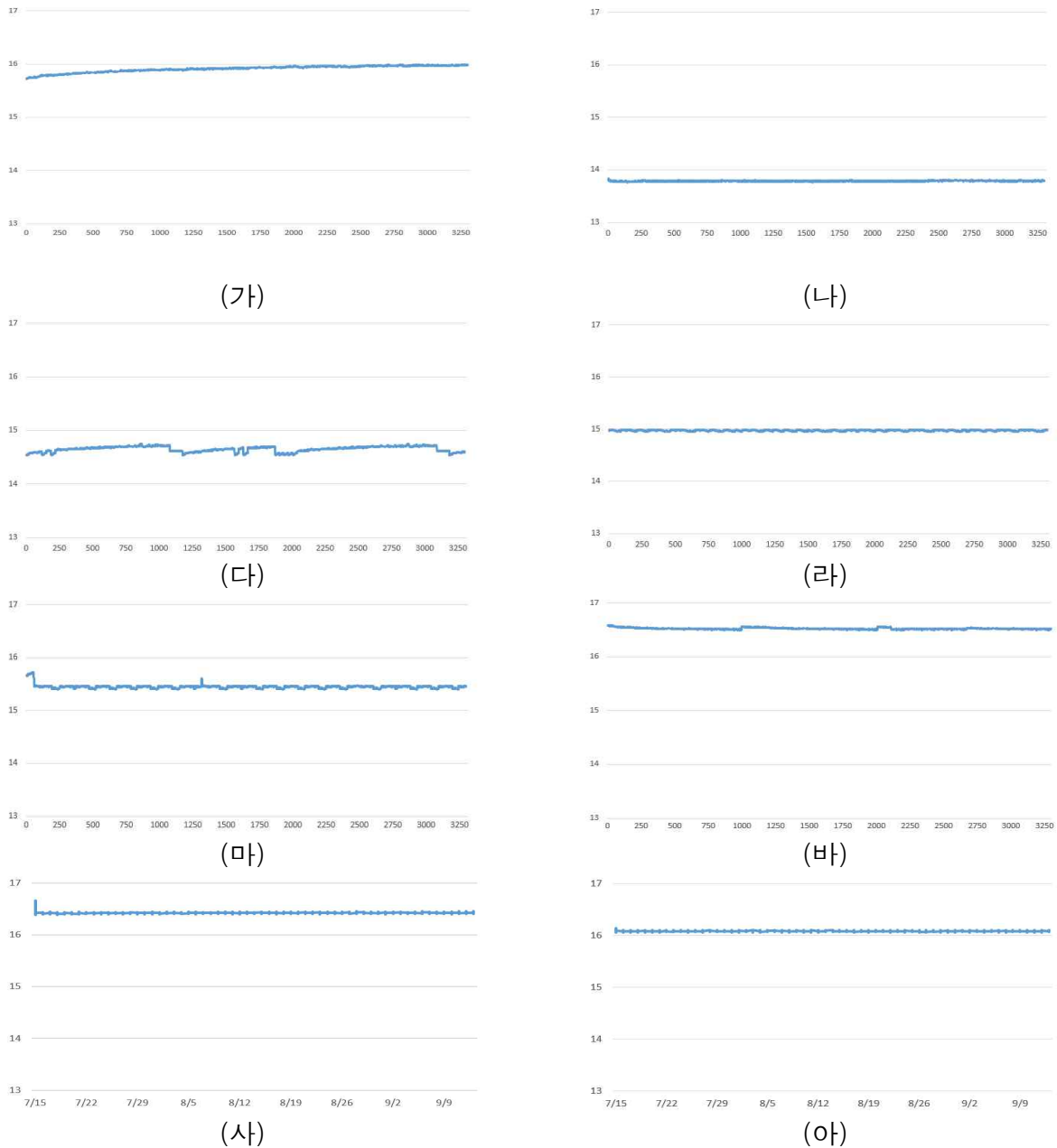


그림 2-4-3-14. 회복시험 결과: (가) BH-1 온도측정, (나) BH-2 온도측정 1차, (다) BH-3 온도측정, (라) BH-4 온도측정 1차, (마) BH-5 온도측정, (바) BH-6 온도측정, (사) BH-2 온도측정(장기), (아) BH-4 온도측정(장기)

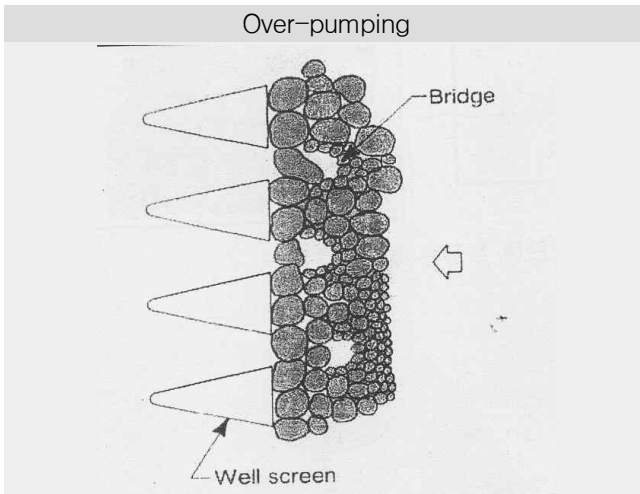


#### (4) 지열정 유지보수 기술 현황조사 및 검토

##### ① 대표적인 방법

- 물리-기계적인 방법으로 (1) 양수(Pumping)법, (2) Surging method, (3) Air-Lift Pumping, (4) Jetting method, (5) Chemical method 등이 있음

##### ② 양수(Pumping)법

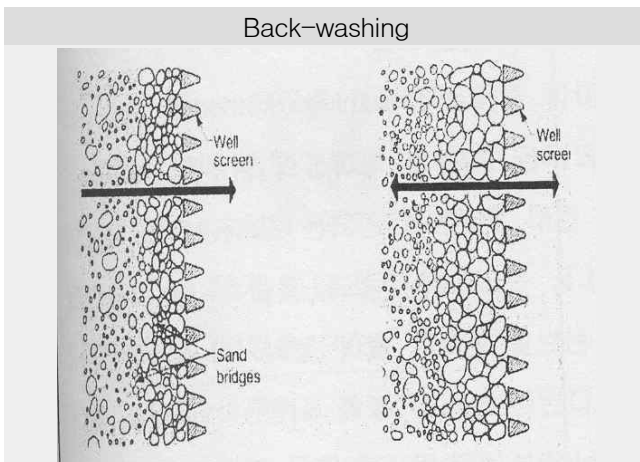


###### ○ 개요

- 수평 집수관의 적정 양수량보다 더 많은 양을 양수하여 수평집수관 주변 대수층으로부터 미세입자를 제거하는 간단한 방법

###### ○ 장·단점

- 물의 흐름이 한쪽 방향으로만 흐르기 때문에 스크린 주변의 대수층은 구조적으로 불안정한 Bridge를 형성 할 수 있음.
- 가장 간단한 방법



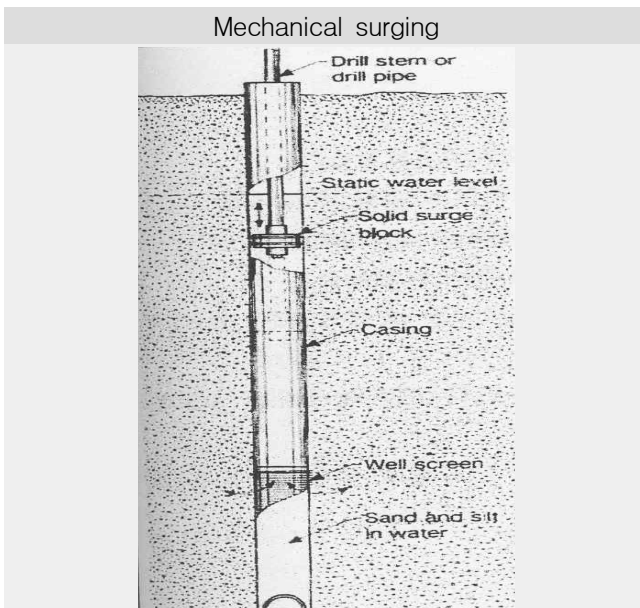
###### ○ 개요

- 집수정 내부에 집수정 상부를 벗어나지 않는 범위 내에서 약한 서징을 주어 세정하는 방법

###### ○ 장·단점

- 물의 흐름이 한쪽 방향으로만 흐르기 때문에 생기는 Bridge 현상을 방지함

##### ③ Surging method



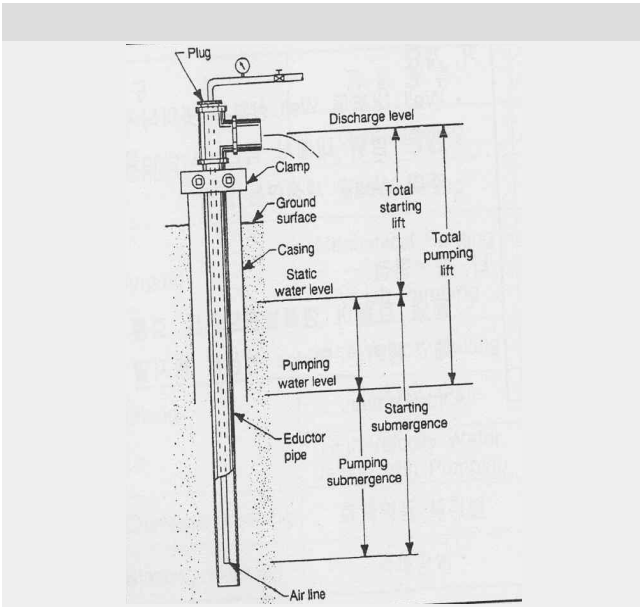
###### ○ 개요

- 수평집수관 내부를 서지 블록(Surge block) 또는 베일러(Bailer) 등과 같은 장비의 기계적인 상하운동을 통해서 집수관을 세정하는 방법으로 피스톤의 실린더와 같은 원리

###### ○ 장·단점

- Surging을 통해 탈리된 미세입자는 수평집수관 외부로 배제되기 전에 대수층으로 스며들어가기 때문에 잦은 Pumping을 통하여 미세입자를 배제해야 함.

#### ④ Air-Lift Pumping



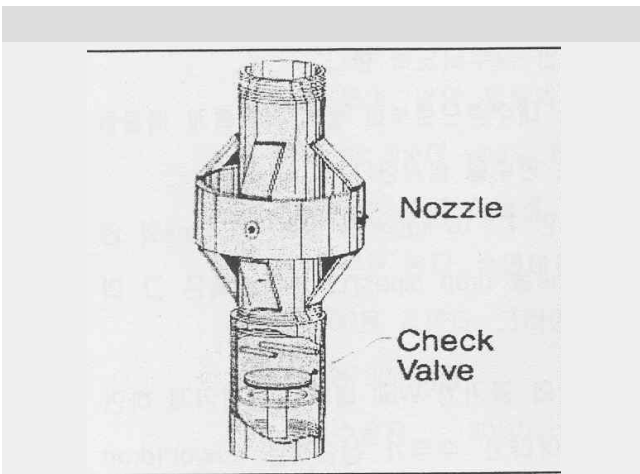
##### ○ 개요

- 역세척의 원리를 통해서 밀폐된 케이싱의 상부에 압축공기를 주입하고 우물 내의 물을 스크린을 통하여 불어 올리거나 대수층을 통해 지층 속의 물을 불어 올려 세정하는 방법

##### ○ 장·단점

- 대규모 장비의 사용이 어려운 곳에 위치해 있거나 또는 주변여건상 오염이되면 안되는 상황에서는 이 방법을 적용됨.
- back-washing시에는 수압에 의해서 케이싱 주변의 파괴가 일어날 수도 있음.
- 주기적으로 화학적 정화가 요구되는 집수정에 적용.

#### ⑤ Jetting method



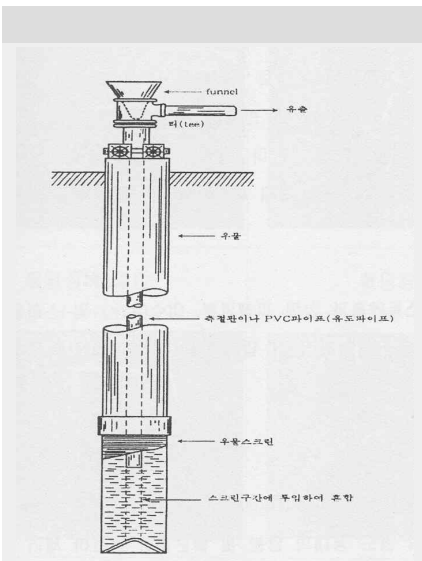
##### ○ 개요

- 스크린 표면에 고압의 공기 또는 물중 어느 것이나 사용가능하나 보통 물과 공기를 함께 사수하여 세정하는 방법으로 세정결과 우수함
- 세정기술력의 "Know-How"가 중요한 관건임

##### ○ 장·단점

- Air-logging이 발생할 가능성이 있음
- 세정에 상당한 기술력이 필요함
- 세정효과가 우수함

#### ⑥ Chemical method



##### ○ 집수정 소독

- 가장 간단한 세정방법으로 굴진시 침투된 각종 오염물과 세균성 바이러스를 박멸하기 위해 일정량의 염소계 소독약품을 투입시켜 2시간 이상 집수정 내에 잔존시켜 소독을 시행
- 가장 간단하고 소독효과가 좋은 염소계 소독제를 많이 사용
- 염소 처리법, 차아염소산소다 및 산처리법 등이 많이 사용됨

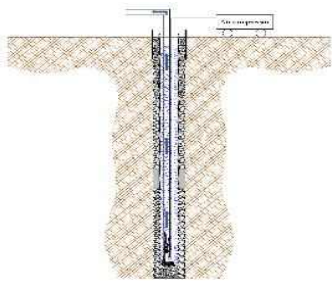
##### ○ 집수정 세척

- 수평집수관 내의 각종 오염물과 세균성 바이러스를 박멸하고 철, 망간 산화물 및 칼슘 산화물 등을 제거하기 위하여 시행되며 화학 약품으로 산과 염소계 화합물을 이용한다.
- 이수 및 슬라임의 침전을 방지하기 위하여 에어써징 시행 필요
- 작업시간이 8시간 이상임

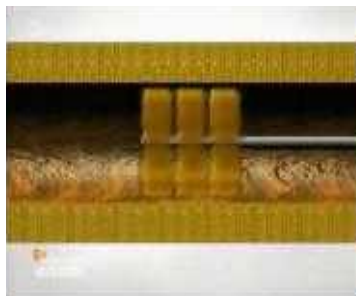
(5) 계간축열(ATES) 지열공의 효율성 유지를 위한 최적유지관리 기술 개발

① 계간축열(ATES) 지열공의 유지관리 개요

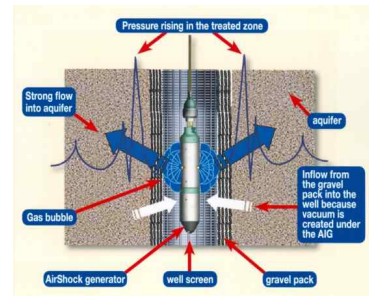
- 정호(지열공)는 하천수와 함께 부유물질이 유입되면서 개발 후 수년이 경과하면 집수량이 줄어드는 현상인 폐색(Clogging)이 진행됨
- 폐색은 대수층 및 수직집수관의 스크린에 발생하여 유량을 감소시키고, 궁극적으로는 수직집수정 하부에 침전물의 퇴적으로 여과수의 오염을 야기하므로, 이러한 현상을 억제하여야 집수정의 효율성을 높일 수 있음
- 폐색현상(Clogging)등의 이유로 양수량이 감소할 경우 공극률을 증가시키고 유입통로를 확충하기 위하여 집수관을 청소하고 수직집수정 바닥의 퇴적 침전물을 깨끗이 제거하여 효율을 회복하여야 함
- 현재 지하수 관정의 효율 저하나 수질악화시 국내에서 흔히 동원되는 수단은 물리/기계적인 처리 및 화학적인 처리방법이 있음
- 물리/기계적인 방법은 양수, 서징, 제팅 등이 있으며, 화학적인 처리방법은 물리/기계적인 방법과 같이 사용하는 것이 효과적인
- 국외에서는 화약을 이용한 폭파법과 진동, 초음파, 펄스 등을 이용하는 방법들이 개발되어 사용중에 있으나 국내에서는 위험성과 기술적인 문제로 적용사례가 적은 실정임
- 본 연구에서는 기존 국내에 소개된 기계식 방법, 화학적 방법, 펄스식 방법을 이용하여 지열공 상태에 따라 현장실정에 맞는 방법을 선정하고, 유지관리 효율을 극대화하는 방법을 매뉴얼화 할 예정임
- 현재 국내에서 사용되고 현장에 적용 가능한 아래 그림 2-4-3-15.에 나타냄



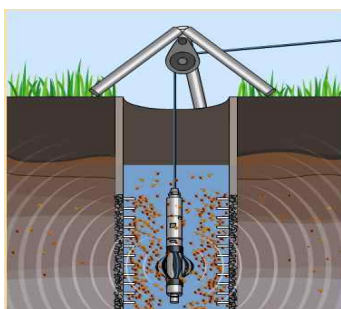
(가)



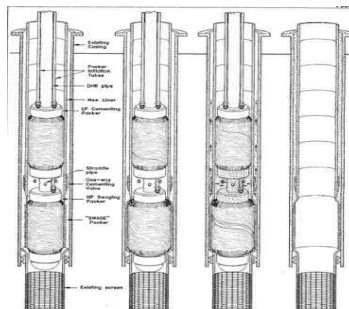
(나)



(다)



(라)



(마)



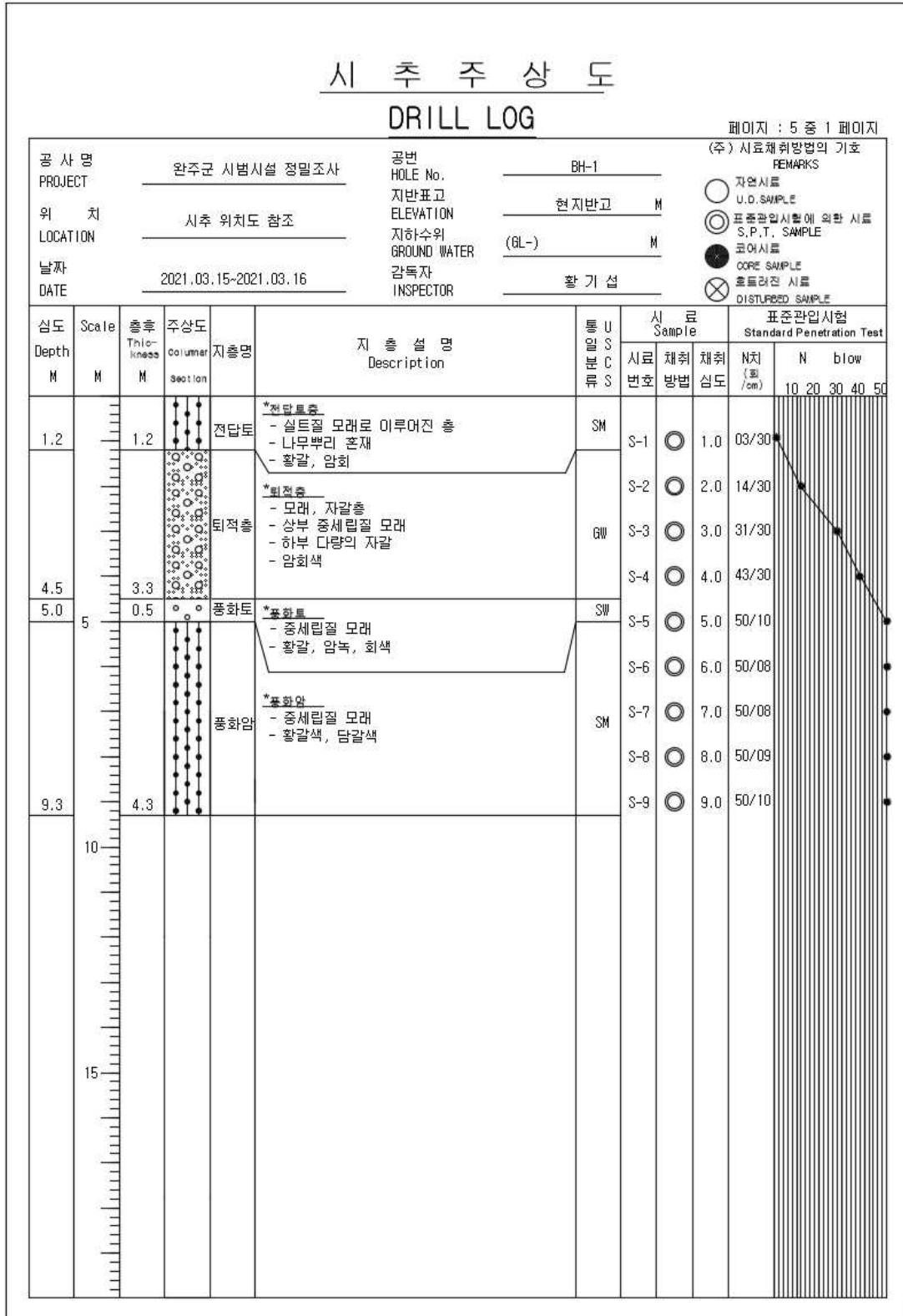
(바)

그림 2-4-3-15. 국내 소개된 지하수관정 세정방법(출처: 인터넷 및 문헌): (가) 역가법, (나) 브러싱 방법, (다) 충격파 세척법, (라) Hydropulse, (마) Packer, (바) Chemical washing

(6) 부록: 각 함양 시추주상도 및 개발과정

① 시추주상도

- BH-1 시추주상도 (아래 그림 2-4-3-16. 참고)





- BH-2 시추주상도 (아래 그림 2-4-3-17. 참고)

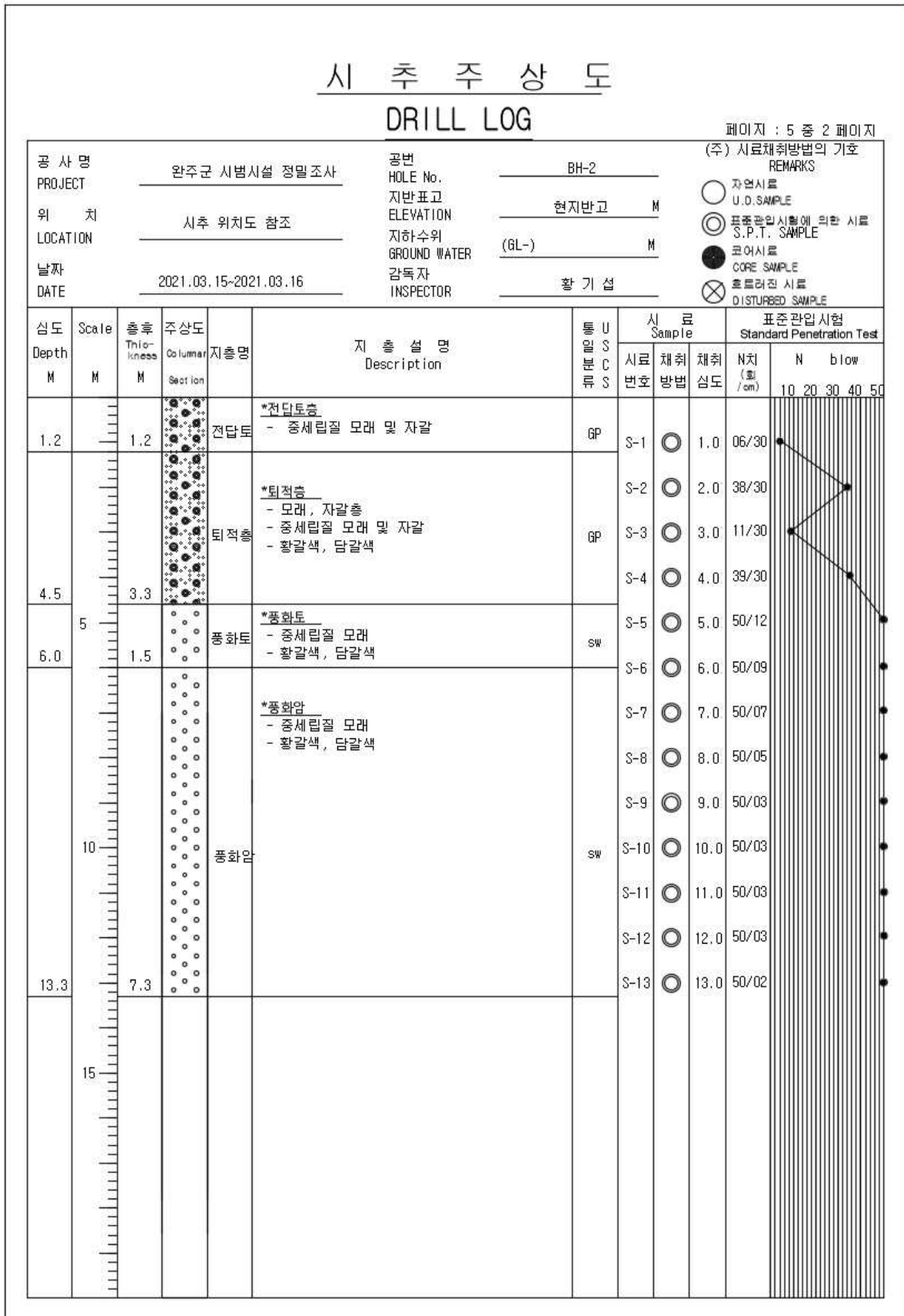


그림 2-4-3-17. BH-2 시추주상도

- BH-3 시추주상도 (아래 그림 2-4-3-18. 참고)

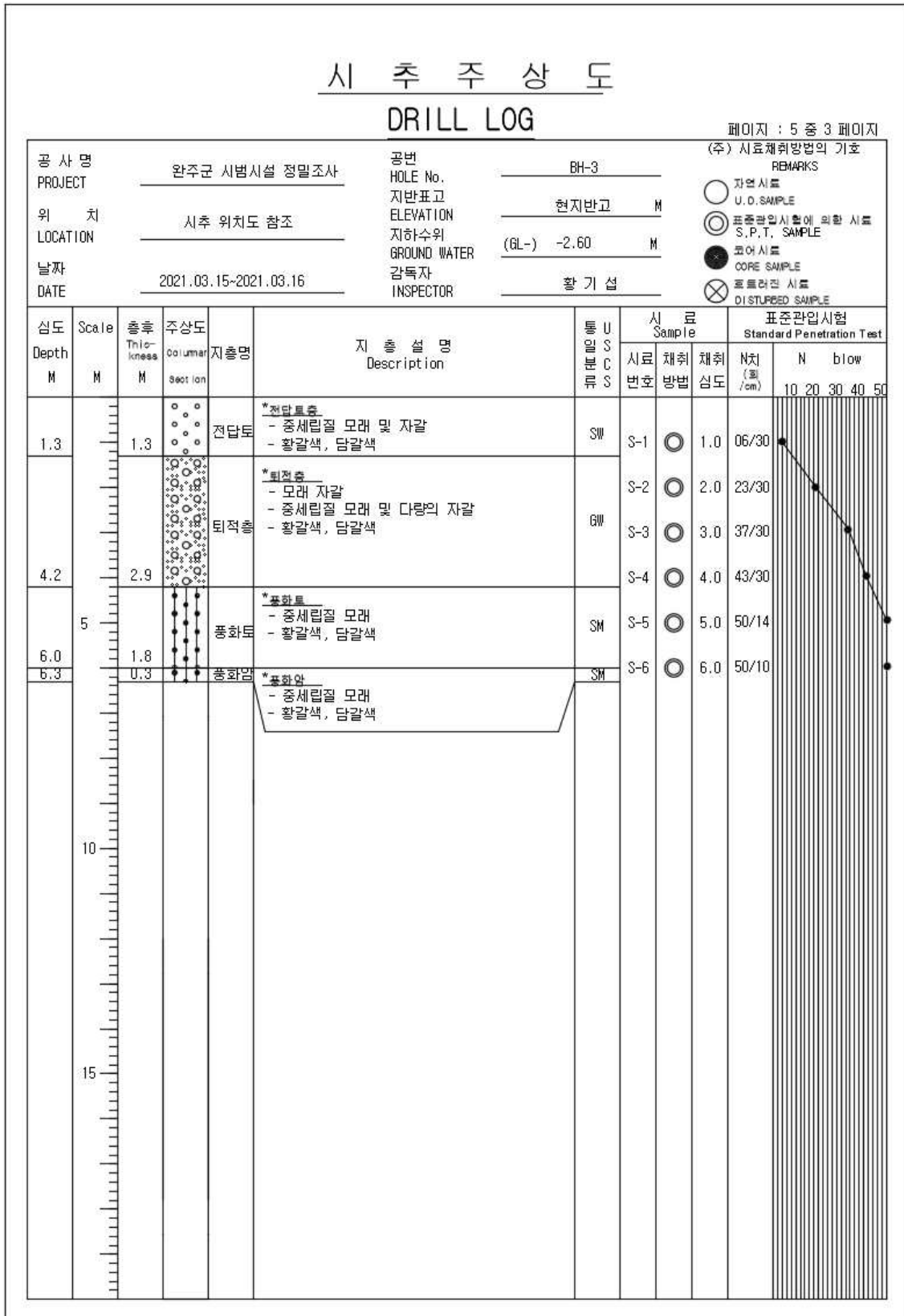


그림 2-4-3-18. BH-3 시추주상도

- BH-4 시추주상도 (아래 그림 2-4-3-19. 참고)

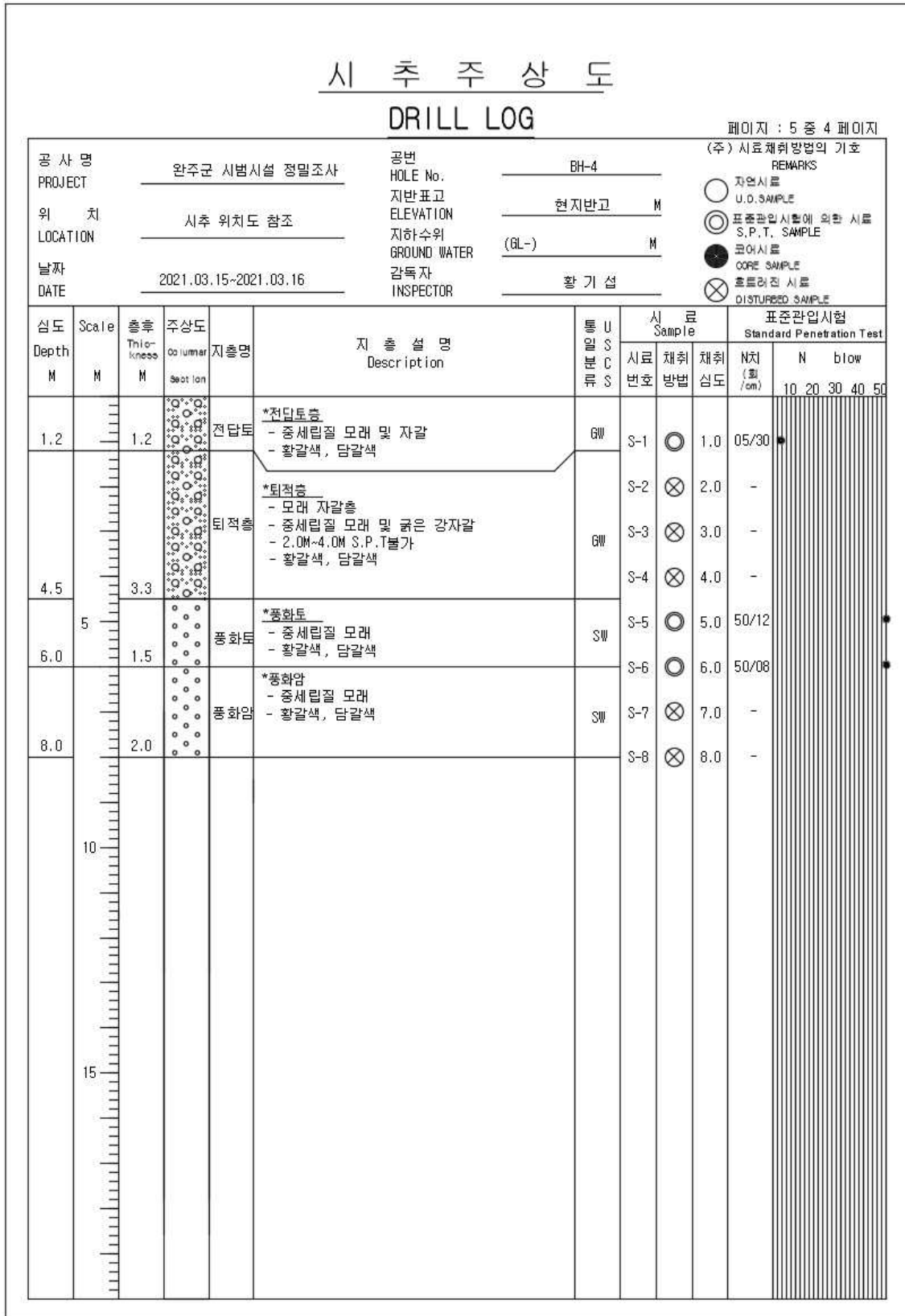


그림 2-4-3-19. BH-4 시추주상도





② 지열정 개발

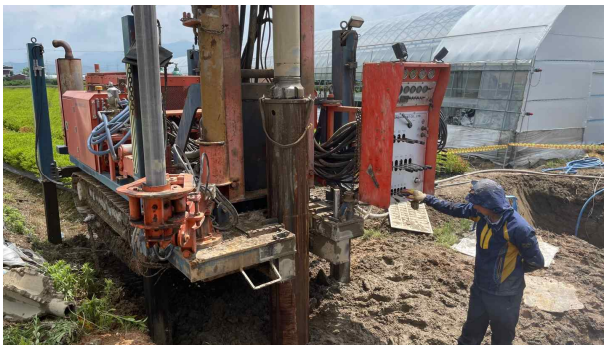
- DW-1 지열정 개발 (아래 그림 2-4-3-21. 참고)



(가)



(나)



(다)



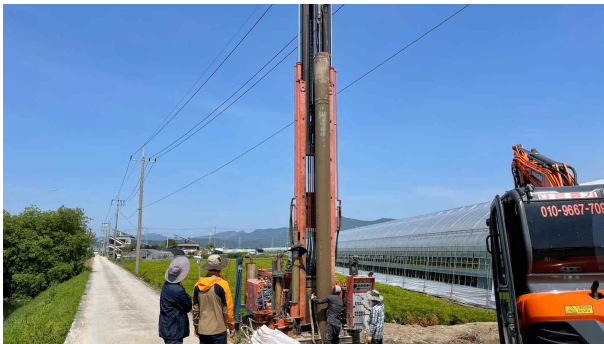
(라)



(마)



(바)



(사)



(아)

그림 2-4-3-21. DW-1 지열정 개발과정: (가) 위치선정, (나) 총적층 굴착, (다) 외부케이싱 설치, (라) 암반 굴착(100 m), (마) 내부케이싱 및 스크린 설치, (바) 여재 채움, (사) 외부케이싱 인발, (아) 관정 구축 완료



- DW-2 지열정 개발 (아래 그림 2-4-3-22. 참고)



(가)



(나)



(다)



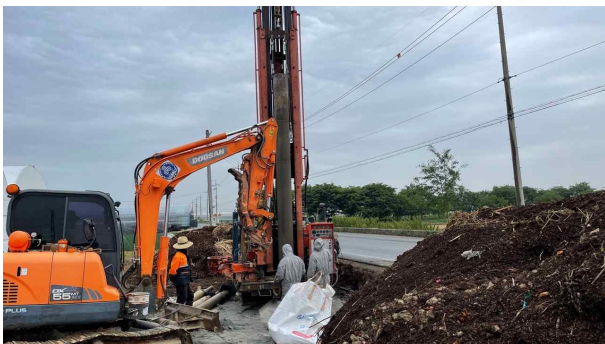
(라)



(마)



(바)



(사)



(아)

그림 2-4-3-22. DW-2 지열정 개발과정: (가) 위치선정, (나) 층적층 굴착, (다) 외부케이싱 설치, (라) 암반 굴착(100 m), (마) 내부케이싱 및 스크린 설치, (바) 여재 채움, (사) 외부케이싱 인발, (아) 관정 구축 완료



- DW-3 지열정 개발 (아래 그림 2-4-3-23. 참고)



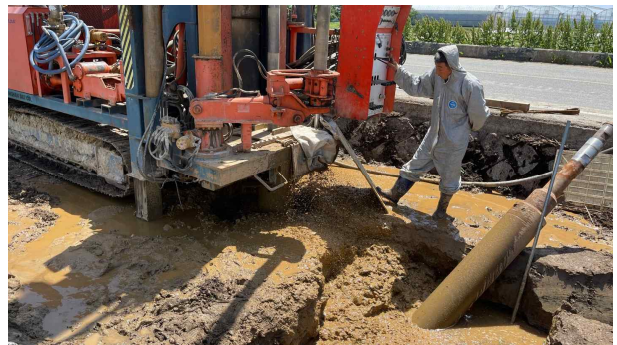
(가)



(나)



(다)



(라)



(마)



(바)



(사)



(아)

그림 2-4-3-23. DW-3 지열정 개발과정: (가) 위치선정, (나) 총적층 굴착, (다) 외부케이싱 설치, (라) 암반 굴착(100 m), (마) 내부케이싱 및 스크린 설치, (바) 여재 채움, (사) 외부케이싱 인발, (아) 관정 구축 완료



- DW-4 지열정 개발 (아래 그림 2-4-3-24. 참고)



(가)



(나)



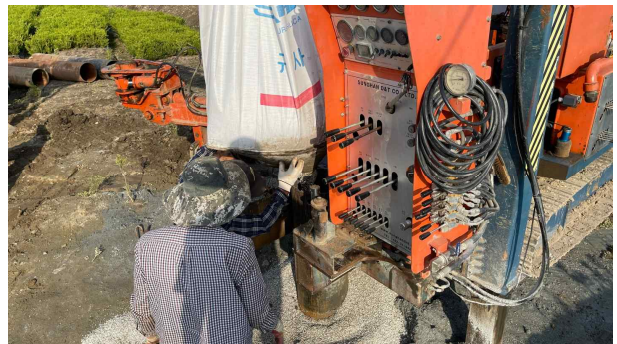
(다)



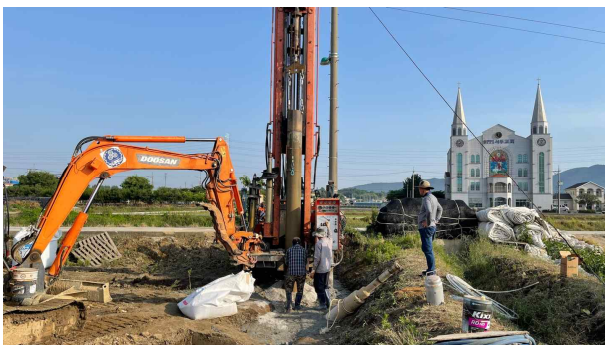
(라)



(마)



(바)



(사)



(아)

그림 2-4-3-24. DW-4 지열정 개발과정: (가) 위치선정, (나) 층적층 굴착, (다) 외부케이싱 설치, (라) 암반 굴착(100 m), (마) 내부케이싱 및 스크린 설치, (바) 여재 채움, (사) 외부케이싱 인발, (아) 관정 구축 완료



- DW-5 지열정 개발 (아래 그림 2-4-3-25. 참고)



(가)



(나)



(다)



(라)



(마)



(바)



(사)



(아)

그림 2-4-3-25. DW-5 지열정 개발과정: (가) 위치선정, (나) 총적층 굴착, (다) 외부케이싱 설치, (라) 암반 굴착(100 m), (마) 내부케이싱 및 스크린 설치, (바) 여재 채움, (사) 외부케이싱 인발, (아) 관정 구축 완료



- DW-6 지열정 개발 (아래 그림 2-4-3-26. 참고)



(가)



(나)



(다)



(라)



(마)



(바)



(사)



(아)

그림 2-4-3-26. DW-6 지열정 개발과정: (가) 위치선정, (나) 총적층 굴착, (다) 외부케이싱 설치, (라) 암반 굴착(100 m), (마) 내부케이싱 및 스크린 설치, (바) 여재 채움, (사) 외부케이싱 인발, (아) 관정 구축 완료

[협동기관] ㈜센도리 (기관별 핵심성과 위주 10쪽 이내 작성)

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용	연구결과
1단계 2차 년도 (2021)	융복합 재생에너지 인증 히트펌프 시스템 개발 및 구축	융복합 재생에너지 히트펌프시스 템 설치 및 테스트	○ 수열원 전처리 장치 및 히트펌프 시스템 제작	○ 수열원 전처리 장치 설계 ○ 히트펌프 시스템 구축
			○ IoT 융합 신재생에너지 인증설비 설치	○ 신재생에너지 인증설비 히트 펌프 선정 및 구축
			○ 기계실 열공급 설비 시공 및 자동제어구축	○ 기계실 열공급 설비 시공 ○ 자동운전제어설계
			○ 히트펌프/펠릿 보일러 연계 자동운전제어구축	○ 히트펌프/펠릿보일러 구축 ○ 자동운전제어 설계
			○ 하천/하천수 점용허가 및 취수 관로공사	○ 하천점용허가 획득 ○ 하천수점용허가 신청 ○ 취수관로공사예정(12월)

(1) 수열원 전처리 장치 및 히트펌프 시스템 제작

① 수열원 전처리 장치 설계

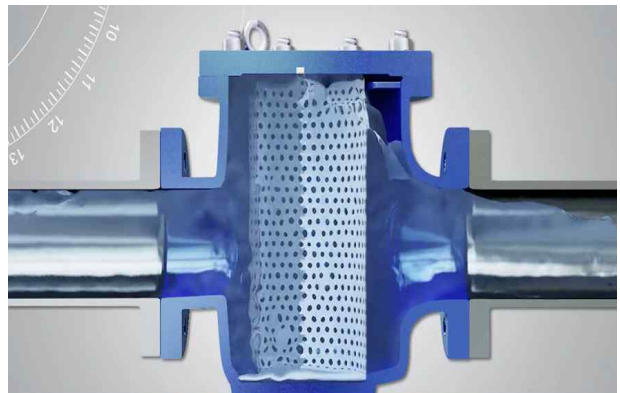
- 총적대수층 지열원과 하천 수열원으로부터 지속가능한 열회수를 위해 열원과 열교환기 사이에 수열원 전처리 장치(여과기 등)를 설계하였음
- 수열원 전처리 장치 설계는 스트레이너를 활용한 종래 여과 방법을 활용하면서 열교환기를 세정할 때는 밸브조작을 통해 역세정이 가능하도록 구성하였음 (아래 그림 2-4-4-1. 참고)
- 아래 도면 및 사진(개념도)과 같이 챔버 내에서 스트레이너와 동력장치를 활용하여 여과 및 역세정이 가능하도록 구성하였음 (아래 그림 2-4-4-2. 참고)
- 해당 결과는 차년도에 구축하여 그 효과를 평가할 계획이고 당해연도 시스템 운전은 옰-스트레이너를 활용하였음

② 히트펌프 시스템 설계 및 제작

- 히트펌프 시스템은 저온열원으로부터 열을 흡수하여 고온을 생산하는 열전달 장치로서 저온열원의 온도와 부하측 온도 간 차이가 낮을수록 압축기의 소비전력을 낮춰 에너지를 절감시킬 수 있음



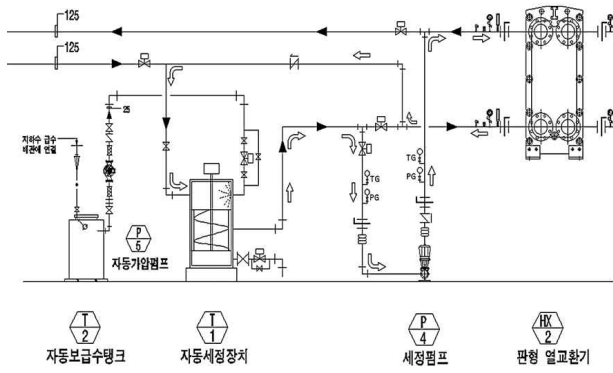
(가)



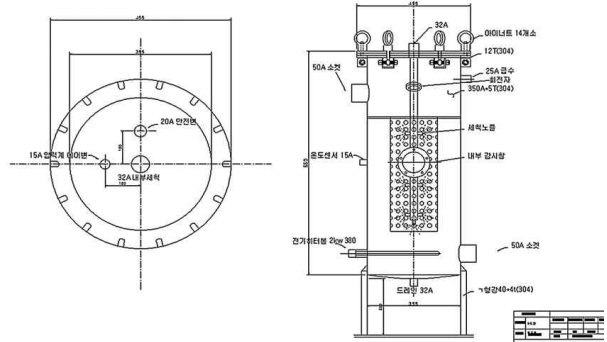
(나)

그림 2-4-4-1. 수열원 전처리 장치 설계 개요: (가) Y-스트레이너(종래기술), (나) 옰-스트레이너(종래기술)

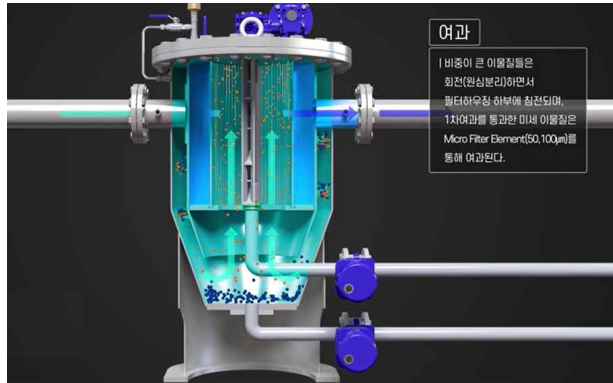




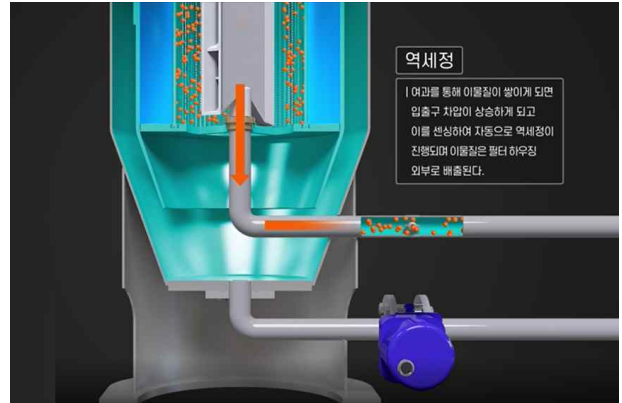
(가)



(나)



(다)



(라)

그림 2-4-4-2. 수열원 전처리 장치 설계 개요: (가) 수열원 전처리 시스템 설계 도면, (나) 수열원 전처리 장치: 여과세정장치 도면, (다) 유사 여과세정장치 동작 개념 (출처: www.midini.co.kr), (라) 유사 여과 역세정장치 동작 개념 (출처: www.midini.co.kr)

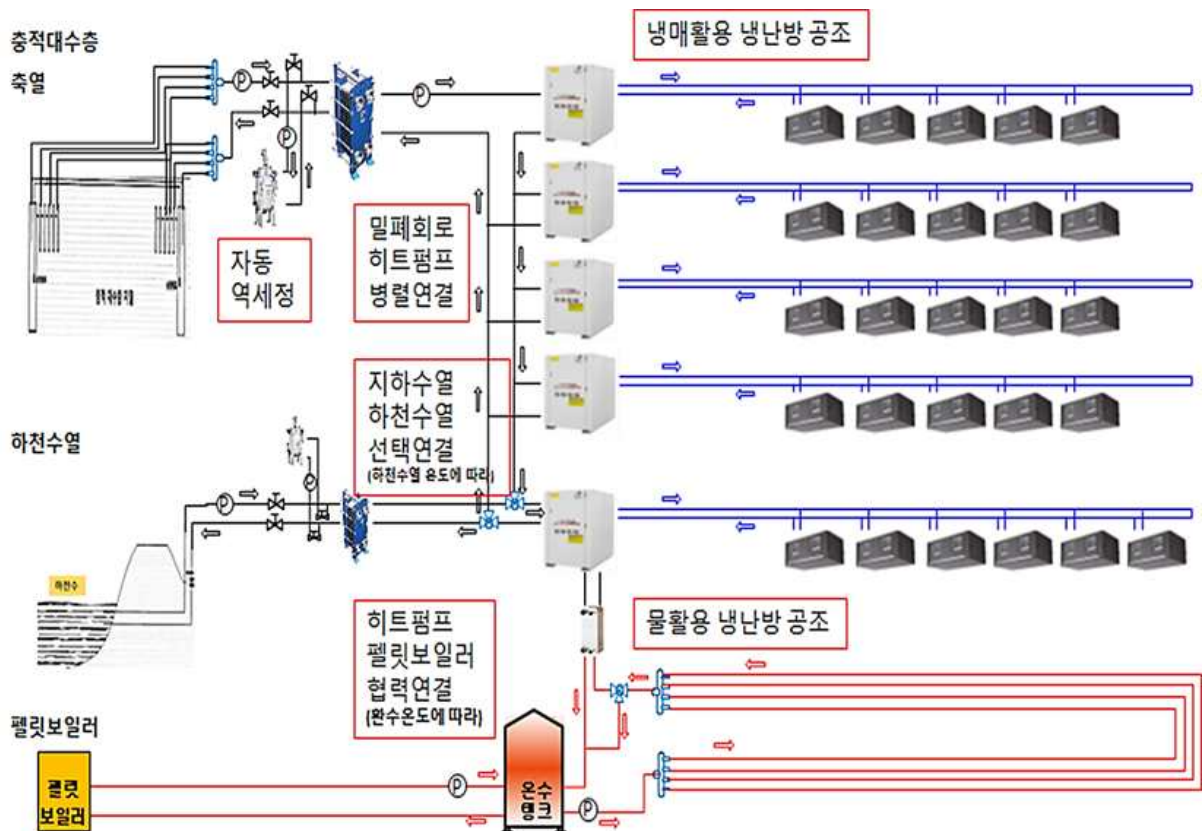


그림 2-4-4-3. 히트펌프 시스템 계통 개념도



- 본 과제의 저온열원인 총적대수층에 계절별로 축열된 열을 활용하여 기존 수열히트펌프보다 높은 COP가 구현될 수 있도록 설계하였음 (위 그림 2-4-4-3. 참고)
- 히트펌프 시스템은 신재생에너지설비 KS 인증(KS B 8294)을 받은 국내 삼성전자(주)의 히트펌프를 활용하여 물-공기방식과 물-물방식을 혼용한 시스템으로 구성하였음 (위 그림 2-4-4-4. 참고)
- 융복합 히트펌프 시스템은 상대적으로 열원의 온도변화가 큰 하천수 온도에 따라 지하수 열과 선택연결 할 수 있도록 하였고, 부하측 환수온도에 따라 펠릿보일러와 선택연결 할 수 있도록 구성하였음

## (2) IoT 융합 신재생에너지 인증설비 설치

### ① IoT 융합 수열히트펌프 인증설비 선정 (아래 그림 2-4-4-4. 참고)

- 인증기준 : KS B 8294, 물-공기 지열원 멀티형 열펌프 유닛
- 선정설비 : 삼성전자(주), AM300KXWAHH1 모델
- 냉/난방능력 : 냉방 73.56 kW, 난방 84.89 kW (듀얼 인버터 압축기, 부하측 2in1 멀티연결)
- 냉매 R-410A, 넓은 온도범위 (인버터 부하연동 가변운전 14 Hz~160 Hz)

### ② IoT 융합 신재생에너지 인증설비 설치 설계안 도출

- 총적대수층 축열 연계한 히트펌프 설치: 계절별로 운전효율을 향상시킬 수 있는 축열을 주로 활용할 수 있도록 20 RT급 히트펌프 5대(100 RT)를 통해 구동할 수 있도록 설계함
- 하천수 수열 연계한 히트펌프 설치 : 여름철 하천수 냉열을 활용할 수 있도록 20 RT급 히트펌프를 통해 구동할 수 있도록 설계함 (아래 그림 2-4-4-5. 참고)

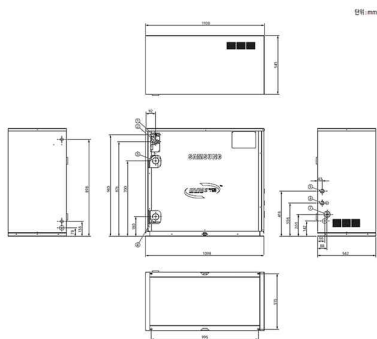


(가)

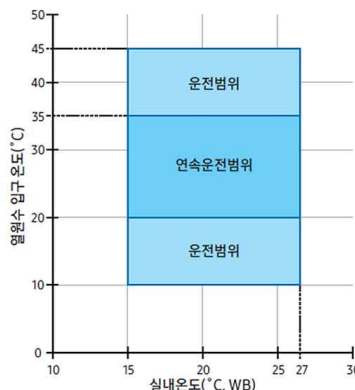
KS B 8294 신재생에너지설비 KS인증 표시	
명칭	물-공기 지열원 멀티형 열펌프 유닛
KS인증번호	GT0316001
모델명	AM300KXWAHH1
모델코드	GT-WAMH-1-0021
정격전원	3상 4선 380 V-60 Hz
제품중량	275 kg
냉매명 (냉매봉입량)	R-410A 11.0 kg
최고사용압력	H : 4.1 MPa L : 2.2 MPa
제조년월	2016.09
인증기관	한국에너지공단

(나)

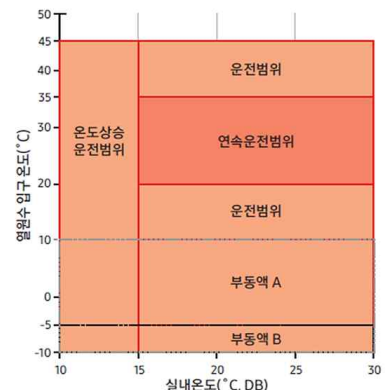
지열방식	냉방		난방		
	지하수	지중부	지하수	지중부	
최대용량	73.56 kW		84.89 kW		
냉/난방 능력	73.56 kW	73.52 kW	84.89 kW	77.27 kW	
실외기단속	운전전류	16.02 A	20.2 A	29.79 A	28.7 A
	소비전력	10.33 kW	13.03 kW	19.21 kW	18.51 kW
최대운전전류	48.0 A				
온도조건	순환수측	15 °C	25 °C	10 °C	5 °C
	실내측(DB/WB)	27 °C / 19 °C		20 °C / 15 °C	
순환수 유량	230 LPM				
상호명 / 제조자	삼성전자(주)				
제조자 주소	경기도 수원시 영통구 삼성로 129 (대안동)				
제조국가(원산지)	대한민국				



(다)



(라)



(마)

그림 2-4-4-4. IoT 융합 수열히트펌프 인증설비 선정: (가) 수열히트펌프(모델: 삼성전자, AM300KXWAHH1), (나) 신재생에너지설비 KS 인증 명판, (다) 제품 형상 및 치수, (라) 냉방운전 범위, (마) 난방운전 범위

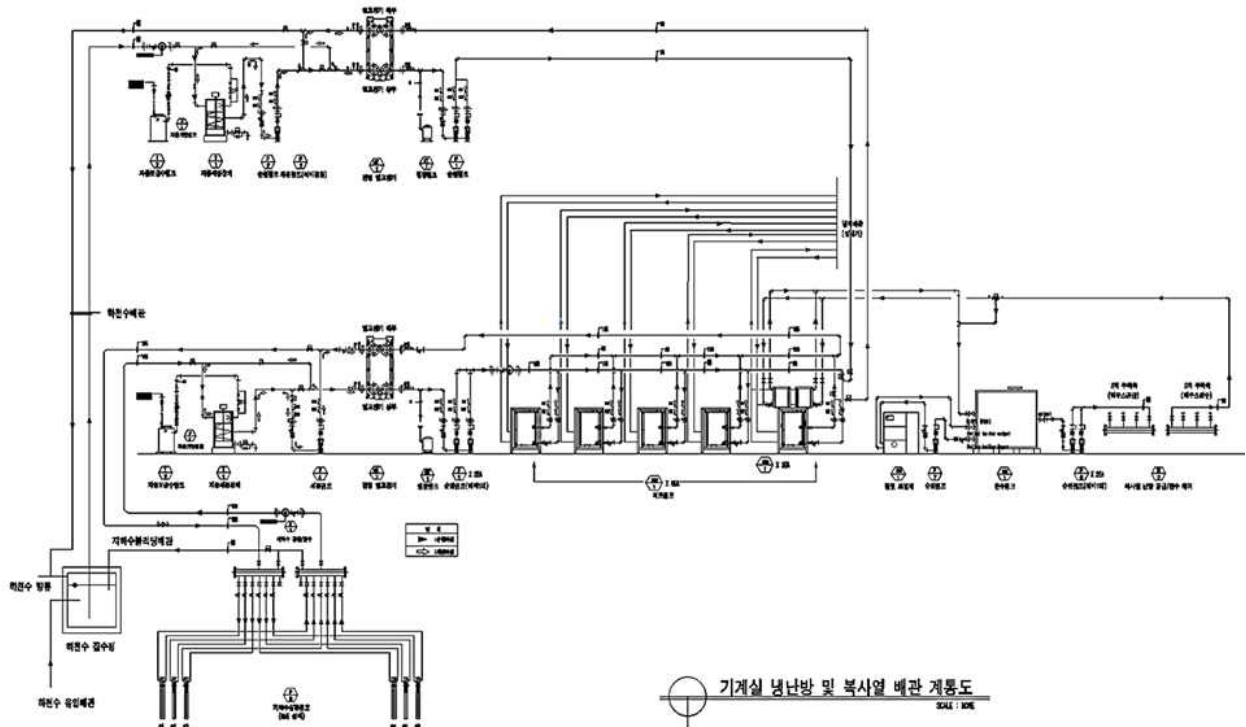


그림 2-4-4-5. 히트펌프 시스템 계통 상세도면

- 펠릿보일러 연계한 히트펌프 설치: 겨울철 피크부하에 대응할 수 있도록 수열 히트펌프와 연동하여 구동할 수 있도록 설계함

### (3) 기계실 열공급 설비 시공 및 자동제어 구축

① 기계실 열공급 설비 시공 (아래 그림 2-4-4-6.과 7. 및 2-4-4-8. 참고)

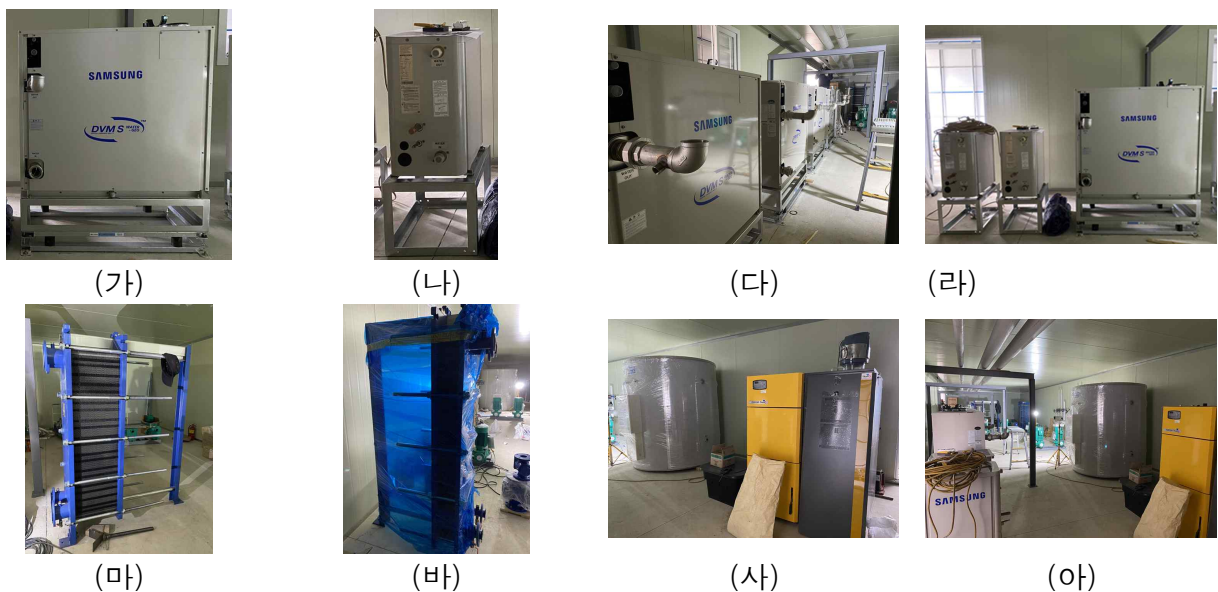


그림 2-4-4-6. 기계실 내부 신재생에너지 인증설비 설치 현황(2021년11월02일 기준 구축현황; 2021년11월19일 완료 예정): (가) 20 RT급 히트펌프 (멀티유닛), (나) 복사냉난방위한 냉매-물 열교환기, (다) 20 RT급 히트펌프 5대(층적 대수층 계간축열 설비용), (라) 20 RT급 히트펌프 (하천수열 설비용), (마) 층적 대수층 계간축열 설비용 열교환기, (바) 하천수열 설비용 열교환기, (사) 펠릿보일러 연계 복사열 열공급 설비, (아) 융복합 시스템 (배관연결 작업 중)





(가)



(나)



(다)



(라)



(마)



(바)



(사)



(아)

그림 2-4-4-7. 기계실 내부 신재생에너지 인증설비 자재입고 및 설치작업 진행경과(2021년11월02일 기준 구축현황; 2021년11월19일 완료 예정): (가) 물 냉매관 자재 입고, (나) 배관절단작업, (다) 엘보관 자재 입고, (라) 플랜지 자재 입고, (마) 배관용접작업, (바) 물 냉매관 플랜지 용접, (사) 이음관 자재입고, (아) 밸브류 자재 입고



(가)



(나)



(다)



(라)

그림 2-4-4-8. 기계실 열공급 설비 시공 현황: (가) 기계실 구축 (외부), (나) 기계실 구축 (내부), (다) 기계실 열공급 설비 전경, (라) 온실 열공급 설비와 연계 구축

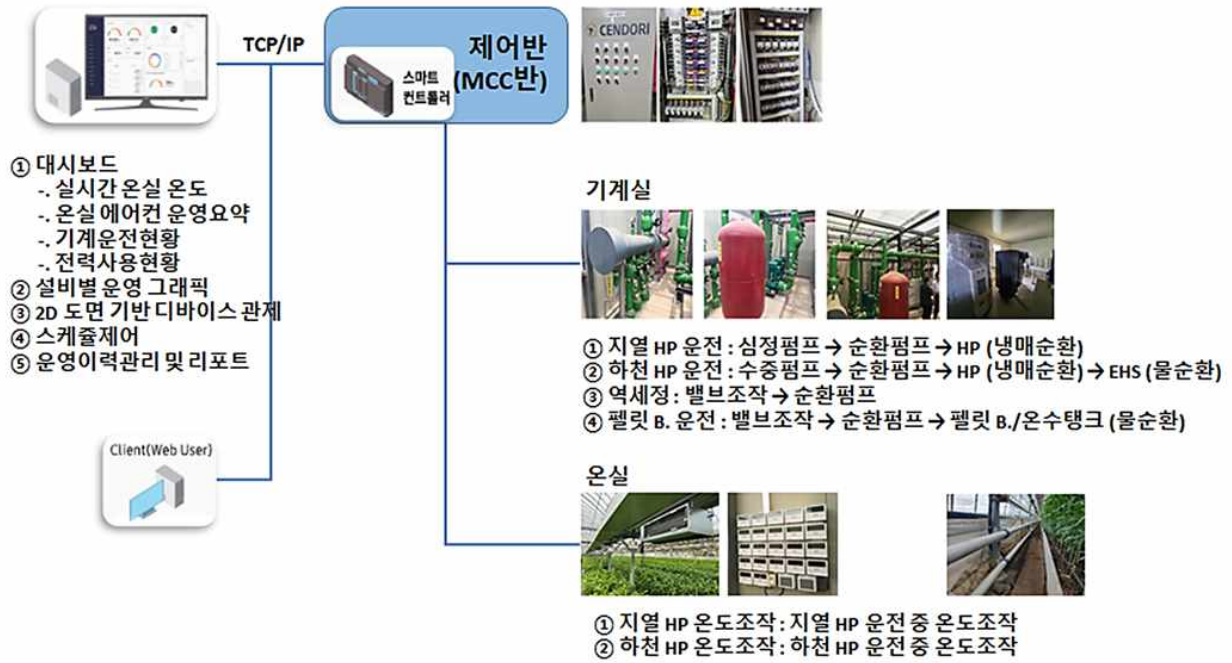


그림 2-4-4-9. 열공급 설비 자동제어 구축 설계 개념

② 자동제어 구축 설계

- 대시보드를 통해 온실내부 실시간 온도, 냉난방기 운영상태, 기계운전현황, 전력사용현황을 파악할 수 있도록 구성 (위 그림 2-4-4-9. 참고)
- 기계실 설비별 운영 그래픽 구성
- 온실 2D 기반 디바이스 관제할 수 있도록 구성
- 스케줄 제어와 운영이력관리 및 리포팅 할 수 있도록 구성

(4) 히트펌프-펠릿 보일러 연계 자동운전제어 구축

① 히트펌프-펠릿 보일러 설치

- 온실 내 일정한 냉온수를 공급하기 위해 공급-환수 헤더에 온수탱크를 연결하였고 이 온수탱크의 온도를 설정에 따라 관리 유지하기 위해 히트펌프와 펠릿 보일러를 연결하였음
- 계절별 경제적 운영이 가능하도록 환수한 물의 온도를 측정하여 측정온도에 따라 히트펌프와 펠릿보일러가 동시 운전하거나 히트펌프만 운전할 수 있도록 제어할 계획임 (아래 그림 2-4-4-10. 참고)

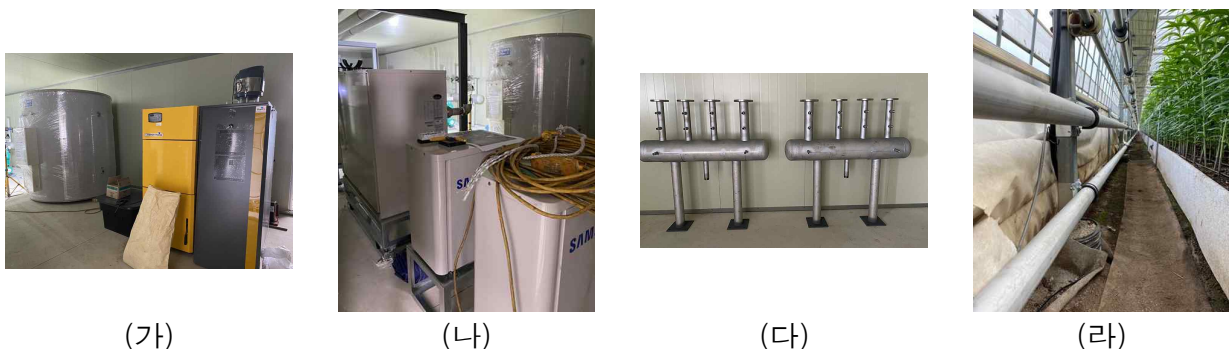


그림 2-4-4-10. 히트펌프-펠릿 보일러 연계 자동운전제어 구축(2021년11월02일 기준 구축 현황; 2021년11월19일 완료 예정): (가) 펠릿보일러(주관기관)-온수탱크 연결, (나) 온수탱크-히트펌프 연결, (다) 복사냉난방 용 냉온수 공급-환수 헤더, (라) 복사냉난방 용 배관설치



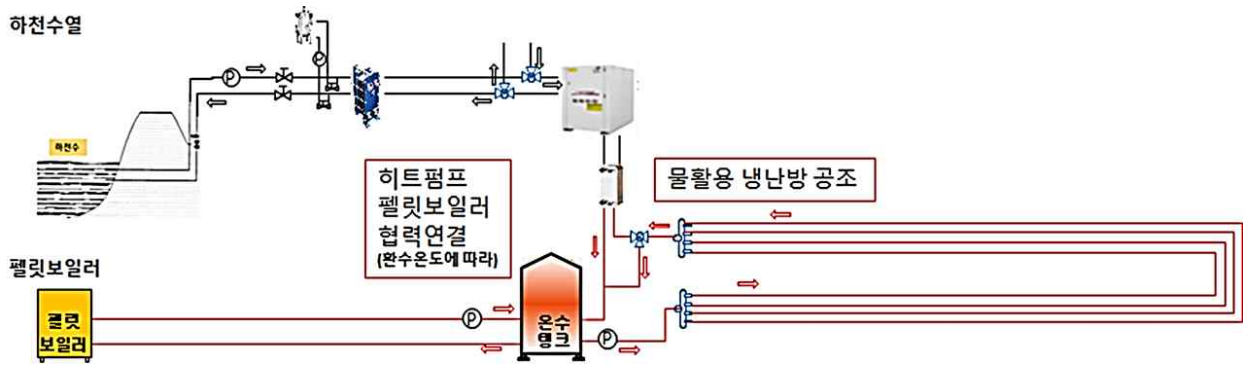


그림 2-4-4-11. 히트펌프/펠릿 보일러 연계 시스템 계통 개념도

② 히트펌프-펠릿 보일러 연계 운전 개념

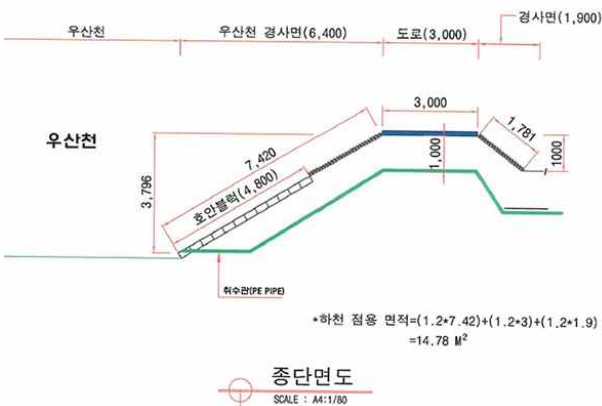
- 온난한 겨울철 히트펌프를 통해 하천수열(혹은 지열)을 활용한 온실 내 복사난방을 실시하고, 혹한기 때는 피크부하를 감당하기 위해 펠릿보일러를 활용함
- 이를 위해 복사난방으로 환수되는 물의 온도를 모니터링하고 그 온도에 따라 펠릿보일러 동작유무를 결정하는 시스템 구축 (위 그림 2-4-4-11. 참고)



(가)



(나)



(다)

[별기 제30호서시]

하천점용허가증			
제2021- 호			
주 소	완주군완서 북구 해당면신로 30번길 46(안재동)		
상명(별명명)	완선 도로		
상년 물 입 (별간의 일부 등속번호)	200111-0128269		
하천 명칭	우산천	하천 등급	지방하천
점용 장소	- 완주군 봉동읍 장거리 1188-10번지, 위수관로 매설		
점용 면적	14.78㎡ (장거리 1187-1번지 영)		
최초 허가일	2021년 11월 1일		
점용 기간	2021년 11월 1일 ~ 2023년 12월 31일까지		
공사 기간			
허가 조건	불일 조건		
*「하천법」 제33조제1항, 같은 법 시행령 제37조 및 같은 법 시행규칙 제17조제2항에 따라 위와 같이 하천점용을 허가합니다.			
2021년 11월 일		완주군수인	
완 주 관			
비고: 하천점용허가에 대한 관리의무를 승계한 자는 상속일경수일 또는 합병일후부터 30일 이내에 관리의무승계신고서에 승계 사실을 입증할 수 있는 서류를 첨부하여 하천관리청에 신고하여야 합니다.			
210mm×297mm(보존용지(2중) 70g/㎡)			

(라)

그림 2-4-4-12. 하천/하천수 점용허가 및 취수관로 공사: (가) 실증온실 조감도(전북 완주군 봉동읍 장거리 1187-1번지), (나) 하천점용구역(면적=14.78 m<sup>2</sup>), (다) 종단면도, (라) 하천점용허가증

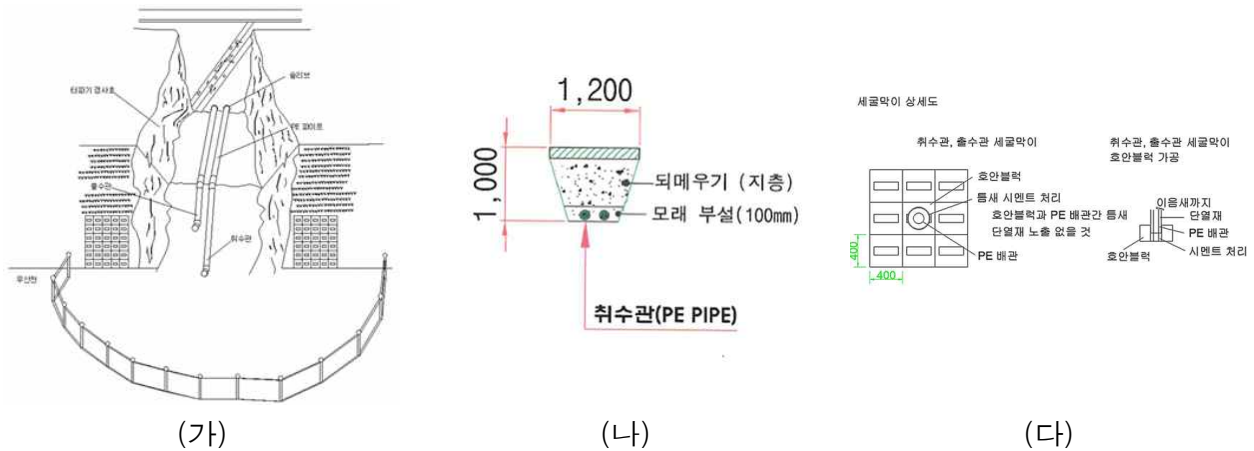


그림 2-4-4-13. 하천 취수관로 공사 계획: (가) 공사 개요, (나) 원상복구 공사, (다) 세굴막이 공사

### (5) 하천-하천수 점용허가 및 취수관로 공사

#### ① 하천-하천수 점용허가 (위 그림 2-4-4-12. 참고)

- 하천 점용허가 획득: 2021년 11월 1일부로 허가 득
- 하천수 점용허가 신청: 11월 2일 하천수 점용허가 신청, 11월 중 하천수 점용허가 득할 시 12월에 취수관로 공사 추진할 계획임

#### ② 하천 취수관로 공사 계획 (아래 그림 2-4-4-13. 참고)

- 하천 독마루 및 앞비탈을 굴착하여 독마루로부터 2 m이내 직경 65 mm 배관 2개를 설치한 후 독마루와 앞비탈을 원상복구할 계획임
- 독마루의 경우 농로로써 정상적인 사용이 가능하고 앞비탈의 경우 토사가 하천으로 흘러 내리거나 지반침하가 발생하지 않도록 하며 배관 및 매설구간을 통해 하천수가 역류하지 않도록 할 계획임 (12월 추진예정)

### (6) 시설 구축 인허가 획득 과정

#### ① 하천수 취수관로 공사 인허가 절차 (아래 그림 2-4-4-14. 참고)

- 대상하천(명): 소하천 (우산천)
- 신청인: (주)센도리
- 유지관리기관: 완주군청 재난안전과
- 협의기관: 농어촌공사(KR)
- 처리기관: 영산강 홍수통제소

#### ② 추진이력 (아래 그림 2-4-4-15.에서 20. 참고)

- 2021년05월: 인허가 절차 조사 및 각 기관별 담당자 조사
- 2021년05월: 완주군청 재난안전과에 신청서 접수 후 협의
- 2021년06월: 신청서 1차 수정본 재제출 (하천 내 점유물 설치 제한에 따른 설계 변경)
- 2021년07월: 완주군청 지시에 따라 농어촌 공사와 협의 후 실시의견 획득
- 2021년08월: 신청서 2차 수정본 재제출(원상복구 계획서 보완)
- 2021년09월: 신청서 3차 수정본 재제출(원상복구 계획서 도면 구체화)
- 2021년10월: 신청서 4차 수정본 재제출(원상복구 계획서 보완; 점유면적과 설치물 수량 산정)
- 2021년11월: 하천 점용 허가서 획득
- 2021년11월: 하천수 점용 허가 신청서 접수
- 2021년11월: 현장실사 수검

- 2021년11월: 하천수 점용 허가서 획득

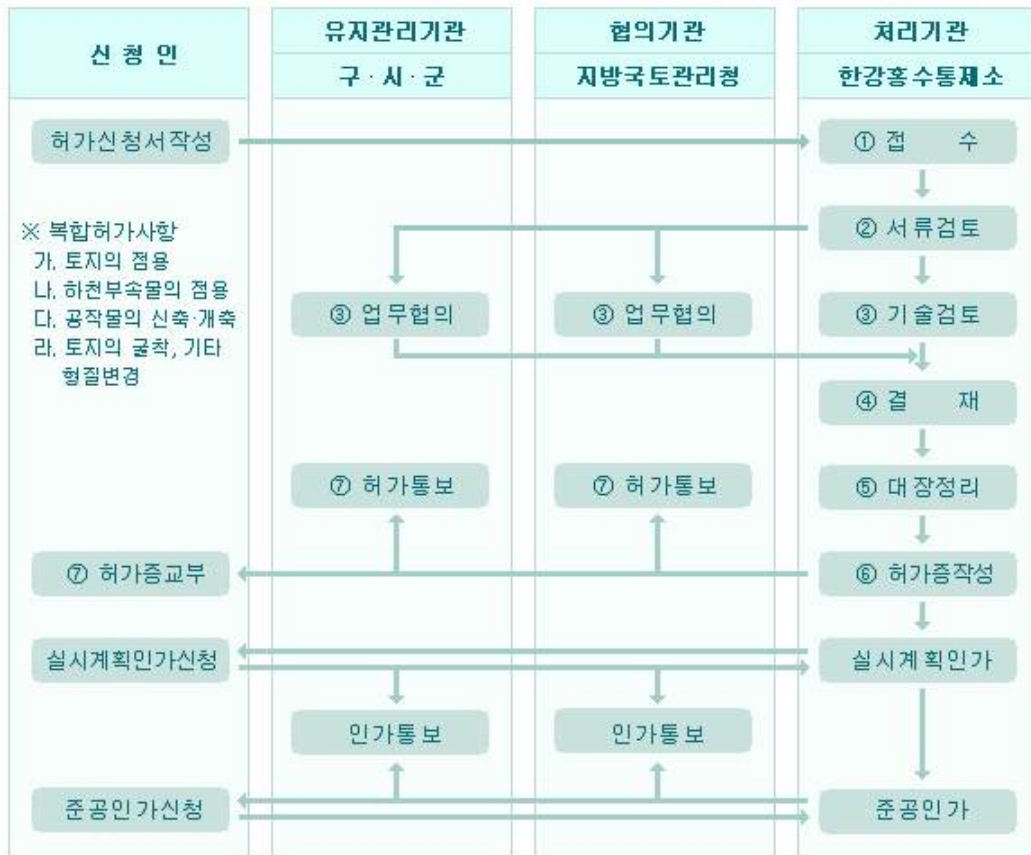


그림 2-4-4-14. 하천수 취수관로 공사 인허가 절차 (출처: 영산강 홍수통제소 홈페이지)

■ 하천수의 사용 및 관리 등에 관한 규칙 [별지 제2호서식]

**[√] 하천수 사용허가**  
**[ ] 하천수 사용 변경허가**      신청서  
**[ ] 하천수 사용허가 기간연장**

※ [ ]에는 해당하는 곳에 √ 표시를 합니다.

접수번호	접수일	처리기간	20일
신청인	성명(법인인 경우 그 명칭 및 대표자의 성명) 주소: 부산광역시 북구 칠담연신로 30번길 46(연저동) (주)신도리 (박문수) (전화번호: 062-268-5811)	생년월일(법인등록번호) 200111-0128269	
허가연월일 및 번호	2021년 11월 01일	제 호	
하천의 명칭	우신천		
취수위치	전라북도 완주군 봉동읍 장거리 1188-10번지, 취수관로 하상		
사용용도	수질 이용		
점용(행위) 면적 및	면적: 14.78 m <sup>2</sup>	허가량: - m <sup>3</sup> /일	
허가량			
사용(연장) 기간	2021년 11월 01일부터 2023년 12월 31일까지(291일간)		
사유 및 내용	하천수를 이용하여 열교환 후 하천까지 피송		

「하천법」 제50조제1항, 같은 법 시행령 제55조제1항 및 「하천수의 사용 및 관리 등에 관한 규칙」 제3조제1항·제3항, 제5조제2항에 따라 위와 같이 [√] 하천수 사용허가, [ ] 하천수 사용 변경허가, [ ] 하천수 사용허가 기간연장(통)을 신청합니다.

2021년 11월 02일  
 신청인 신도리(박문수) (서명 또는 인)

홍수통제소장 귀하

첨부서류  
 1. 사용허가의 경우 가. 위치도 나. 사용 허가신청서 및 도면(하천시설이 표시된 축척의 3천분의 1부터 6천분의 1의 치장 평면도·구체도를 포함합니다) 다. 이행과제장의 등본서  
 2. 사용 변경허가의 경우 가. 제1호의 서류 중 변경과 관련된 서류 나. 하천수 사용허가증  
 3. 사용허가 기간연장 신청의 경우: 하천수 사용허가증

담당 공무원 확인사항      지척도      수수로 있음

처리절차  
 신청서 작성 → 접수 → 검토 → 교제 → 대상 정리 → 허가증 작성 → 허가증 발급

처리기관: 관할 홍수통제소      210mX297m(복사지(80g/m<sup>2</sup>)) 또는 중량지(80g/m<sup>2</sup>)

(가)

■ 하천법 시행규칙 [별지 제29호서식] <개정 2017. 9. 21.>

**[√] 하천점용허가**  
**[ ] 홍수관리구역 안에서의 행위허가**      (변경)신청서

※ [ ]에는 해당하는 곳에 √ 표시를 합니다.      (오류)

접수번호	접수일	처리기간	뒤쪽 참조
신청인	성명(법인인 경우 그 명칭 및 대표자의 성명) 주소: 광주광역시 북구 첨단연신로 30번길 46 (연저동) (전화번호: 062-268-5811)	생년월일(법인등록번호) 200111-0128269	
점용(행위) 개요	하천의 명칭 우신천 점용(행위)위치 전라북도 완주군 봉동읍 장거리 1188-10도 (면적: 14.78m <sup>2</sup> ) 점용(행위)목적 취수관로 하설 지구지정현황(하천법제44조)	점용(행위)기간 2021년 11월 01일부터 2021년 12월 31일까지 공사기간 2021년 11월 01일부터 2021년 12월 31일까지 (해당기간 중 7일 소요)	

「하천법」 제33조제1항(제38조제1항), 같은 법 시행령 제34조제1항(제45조제1항) 및 같은 법 시행규칙 제17조제1항(제20조제1항)에 따라 위와 같이 [√] 하천점용허가 [ ] 홍수관리구역 안에서의 행위허가(변경)신청합니다.

2021년 10월 22일  
 신청인 박문수 (서명 또는 인)

국토교통부장관, 지방국토관리청장  
 특별시장·광역시장·특별자치시장·도지사·특별자치도지사      귀하

비고      첨부서류: 「하천법」 제33조제1항 각 호와 같은 법 시행령 제35조제1항 각 호와 행위별로 그 명세서 중 구제적으로 제출서류를 구제적으로 제출합니다.      수수로 있음  
 변경내용은 허가사항에 대하여 변경신청 할 경우에만 적용합니다.

처리절차  
 신청서 작성 → 접수 → 검토 → 교제 → 대상 정리 → 허가증 작성 → 허가증 발급

처리기관: 국토교통부, 지방국토관리청, 특별시·광역시·특별자치시·도·특별자치도      210mX297m(복사지(80g/m<sup>2</sup>)) 또는 중량지(80g/m<sup>2</sup>)

(나)

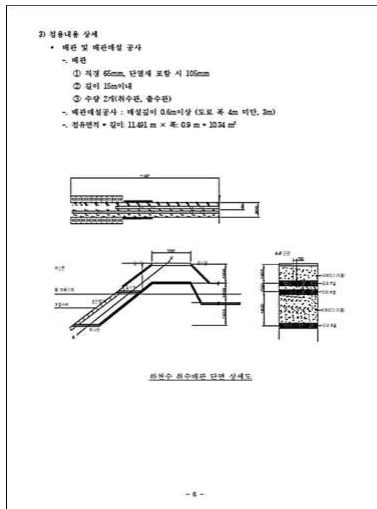
그림 2-4-4-15. 신청서: (가) 하천수 사용허가, (나) 하천점용허가



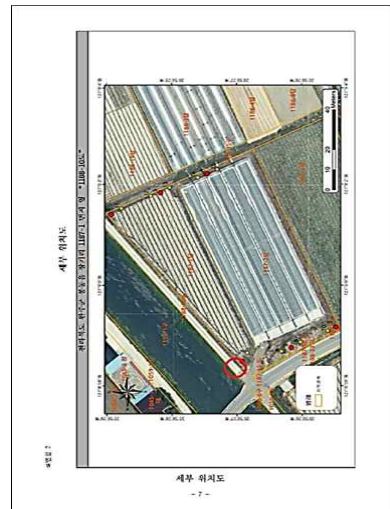
- 하천수 사용 및 점용허가 신청서 첨부서류는 아래와 그림과 같음



(가)



(나)

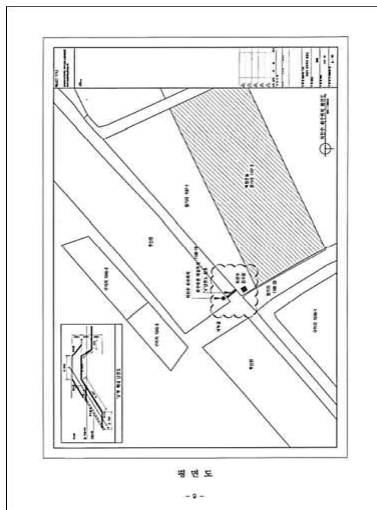


(다)

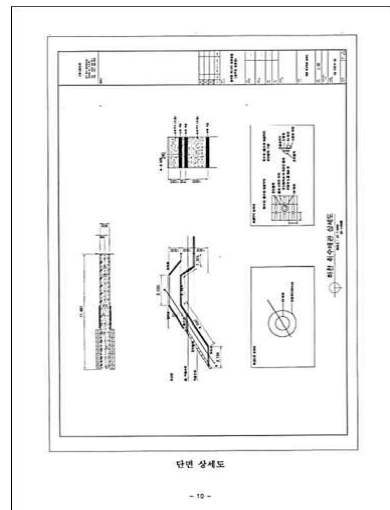
그림 2-4-4-16. 신청서 첨부서류: (가) 점용지역 조감도, (나) 점용내용 상세, (다) 세부 위치도



(가)

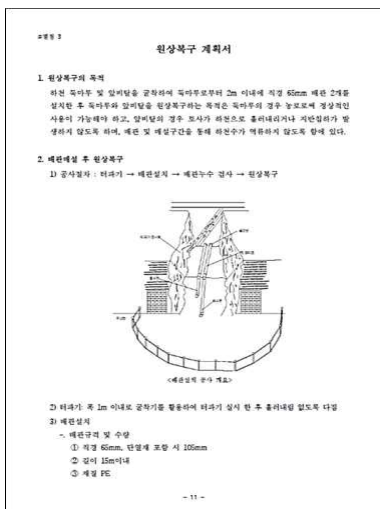


(나)

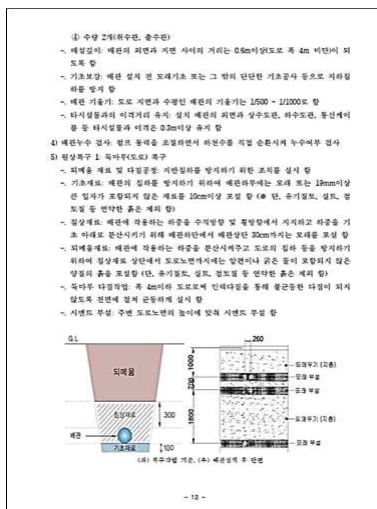


(다)

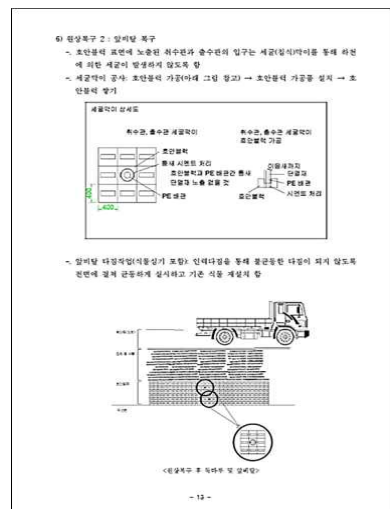
그림 2-4-4-17. 지적도 등본: (가) 지적도, (나) 평면도, (다) 단면 상세도



(가)



(나)



(다)

그림 2-4-4-18. 신청서 첨부서류: 원상복구 계획서



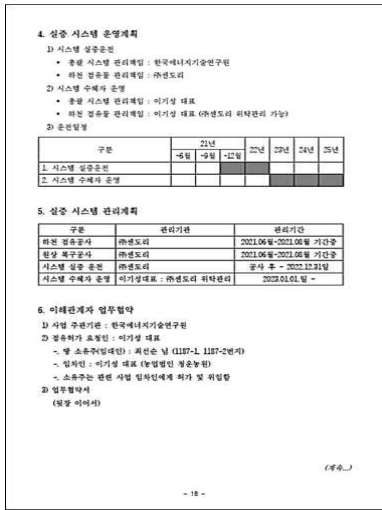
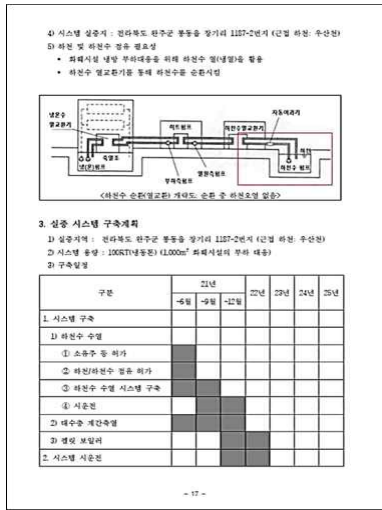
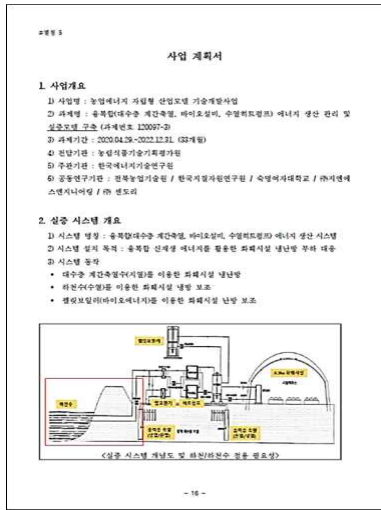
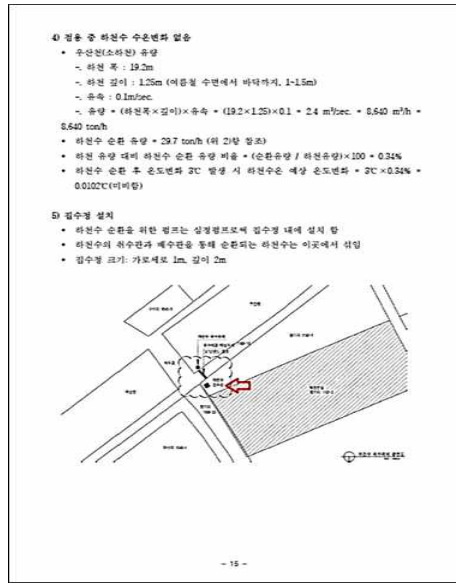
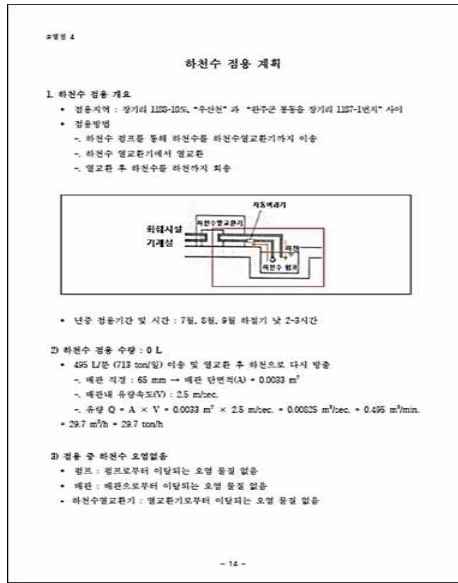
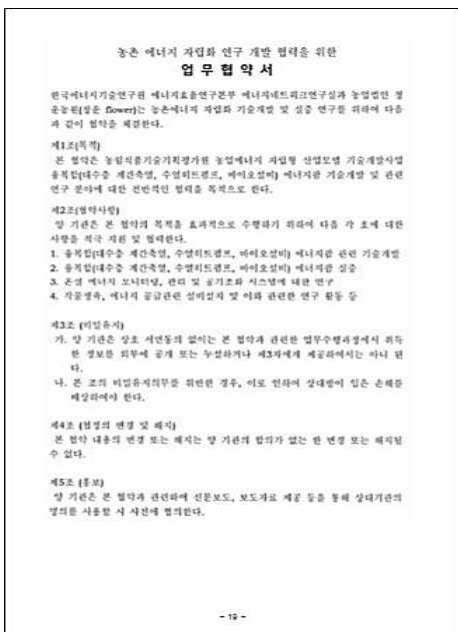


그림 2-4-4-19. 신청서 첨부서류: 사업계획서



(가)



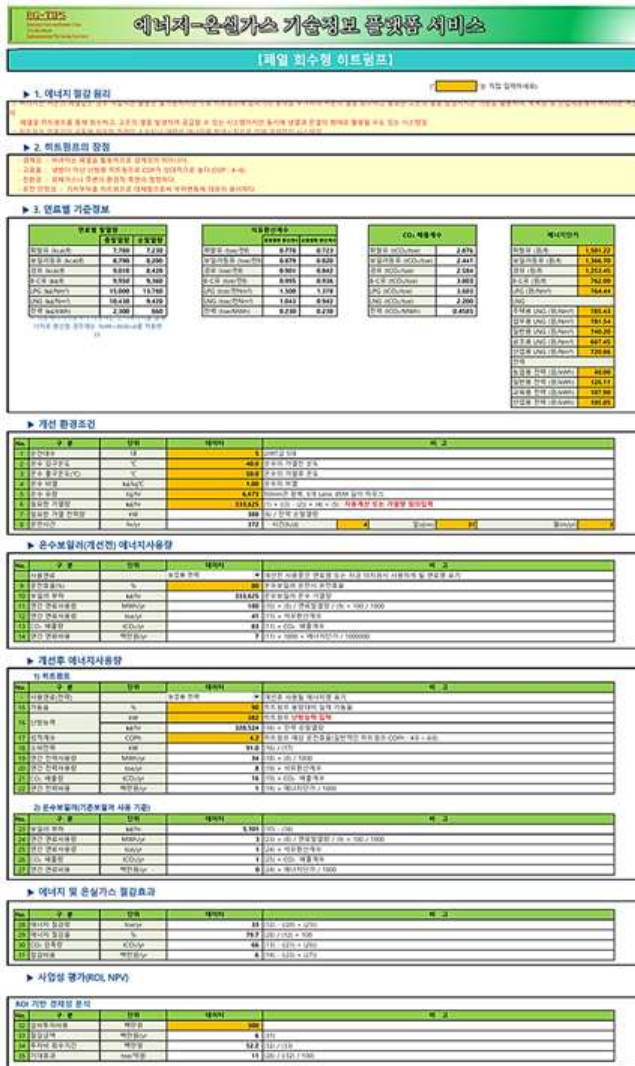
(나)

그림 2-4-4-20. 신청서 첨부서류: (가) 하천수 점용 계획, (나) 주관기관 및 실증온실 간 업무 협약서(MOU)

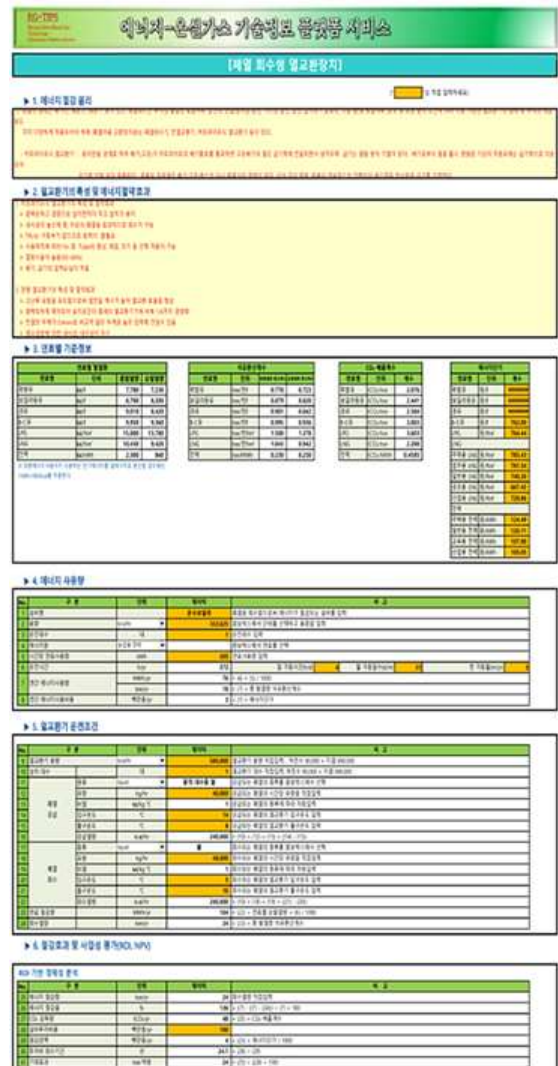
(7) 탄소중립 기여 및 경제성 평가(약식)

① 융복합 재생에너지 설비 구축에 따른 에너지 절감 효과 분석

- 아래 그림 2-4-4-21. 참고



(가)



(나)

그림 2-4-4-21. 히트펌프 및 폐열회수형 열교환기 이용시 에너지 절감효과 분석결과

[협동기관] 숙명여자대학교 (기관별 핵심성과 위주 10쪽 이내 작성)

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용	연구결과
1단계 2차 년도 년도 (2021)	저가형 온실 복합 열환경 정밀 모니터링 기술 연구	적용 기술 현장 실증 기반 최적화 연구	○저가형 온실 열환경 정밀센싱 시스템 최 적화	○1차 년도 시작품 성능 개선 2차 시작 품 제작 성능 테스트 완료
			○작물 중심 정밀 열환 경 제어시스템 고도 화	○베드별 multi-points 센싱 데이터 기준 온실 열 환경(온도, 습도) 제어 알고리 즘 수립
			○온실 열환경 제어시 스템 연동 운전 실증	○실증 온실 현장 설치를 위한 현장 적용 시스템 시작품 제작 완료 ○12월 초 현장 설치 및 성능 테스트 시 행 예정

(1) 저가형 온실 열환경 정밀 센싱 시스템 최적화

- ① 1차 년도 시작품 성능개선을 위한 2차 시작품 기초 및 상세 설계
  - (시작품 성능개선) (아래 그림 2-4-5-1. 참고)
  - 1현장 온실 적용성 개선을 위한 배터리 용량 증대 필요 (1차 시작품 기준: 50분)
  - 1계측 위치별 적정 온실 공기 유입을 위한 유입구 구조 적용
  - 1적정 Multi-points 개소에 따른 정확한 위치 인식을 위한 기능 구현 필요
  - 1구동방식(옵니휠) 적용에 따른 Slip 현상 개선방안 구현 필요
- ② 2차 시작품 제작 및 성능 테스트 (아래 그림 2-4-5-2. 참고)
  - 1차 년도 시작품 성능개선을 반영한 2차 시작품 기초 및 상세 설계함
  - 이송 모듈 배터리 용량 증대: 배터리 탑재 공간 추가 확보 (추후 자동 충전 고려)



(가)



(나)



(다)

그림 2-4-5-1. 온실 열 환경 정밀 센싱을 위한 이송모듈 1차 시작품: (가) 전체 시스템 개요, (나) 센싱부, (다) 조작부

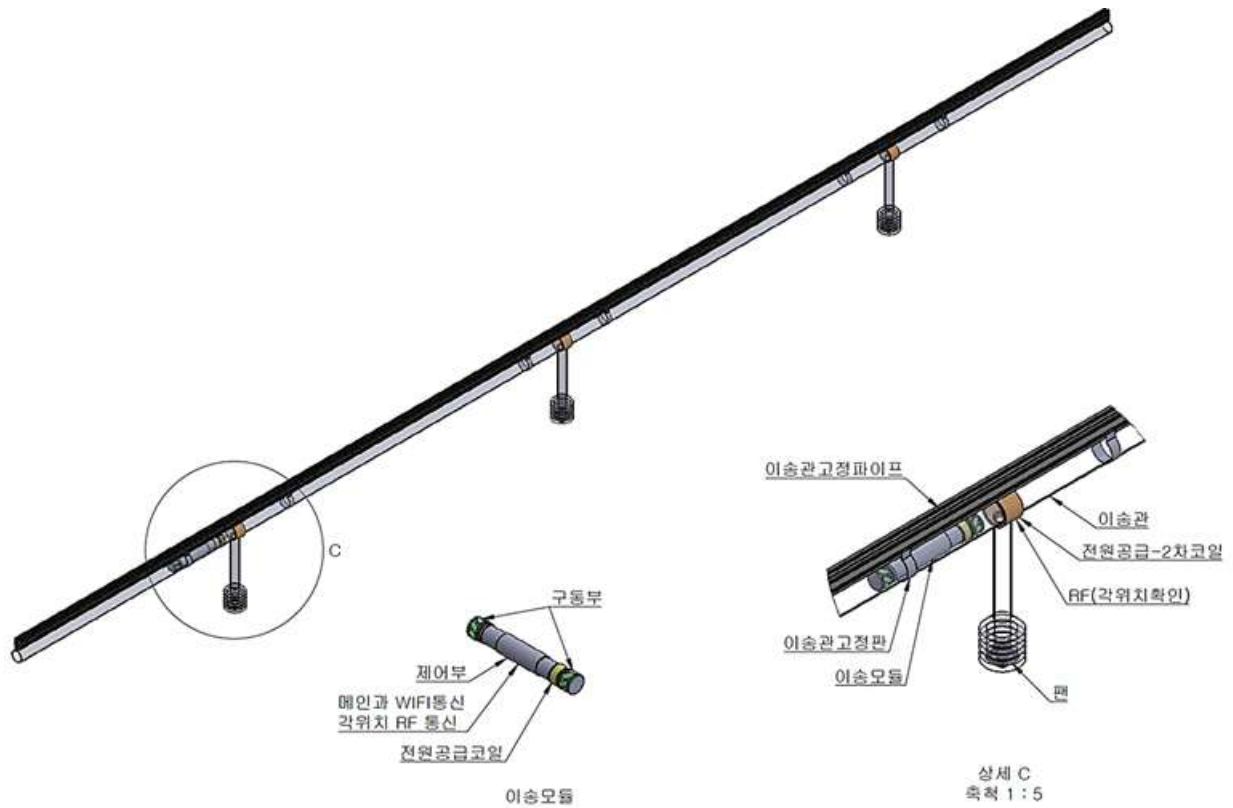
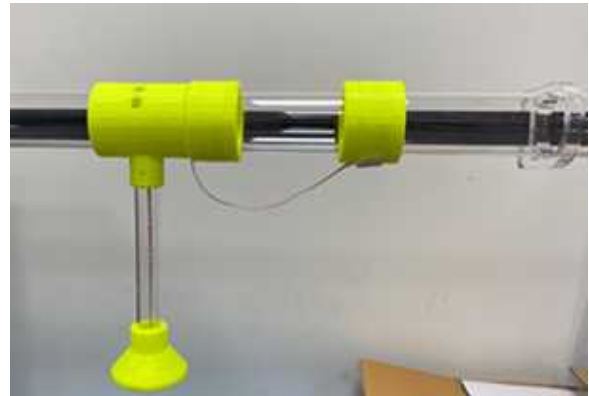


그림 2-4-5-2. 온실 열 환경 정밀 센싱을 위한 이송모듈 2차 시작품 설계도

- 계측 위치별 적정 온실 공기 유입을 위한 유입구 구조 적용: 계측 개소별 하부 송풍 팬 설치 및 RF 인식과 연동한 작동 제어
- 적정 Multi-points 개소에 따른 정확한 위치 인식을 위한 기능 구현 필요: RF 기반 위치 인식 제어 적용



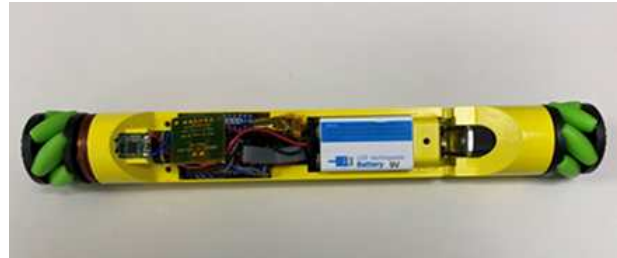
(가)



(나)



(다)



(라)

그림 2-4-5-3. 온실 열 환경 정밀 센싱을 위한 이송모듈 2차 시작품: (가) 전체 시스템 개요, (나) 외기흡입부, (다) 이동식 센싱부 외관, (라) 이동식 센싱부 내부



- 구동방식(옴니휠) 적용에 따른 Slip 현상 개선방안 구현 필요
- 옴니휠 구동 소자와 밀착성 개선 (추후 옴니휠 표준 사이즈 맞춤형 이송 배관 제작을 통한 Slip 문제 해결)
- **(2차 시작품 상세 스펙)** 모터 구동에 의한 센서 이송모듈 현장 적용을 위한 시스템(1 set)
- 이송 시스템 단위 길이는 3.0 m이며 제어에 의해 내부 탑재되는 이송모듈이 사용자가 지정한 위치(다중 센싱 지점)에 멈출 수 있도록 설계
- 지정 위치 이동 후 팬 가동을 통해 이송시스템 내부로 외부 공기가 유입되도록 제어 (최소 15초 이상 공기 유입)
- 팬 공기 유입으로 환기된 공기의 온도, 습도를 센싱할 수 있는 센서모듈을 이송모듈에 장착하여 다중 센싱 지점의 데이터를 계측
- 상기 센싱한 데이터를 실시간으로 데이터 수집 장치로 전송할 수 있는 통신모듈을 장착하여 실시간 데이터를 획득 (위 그림 2-4-5-3. 참고)

## (2) 작물 중심 정밀 열환경 제어시스템 고도화

- 베드별 multi-points 센싱 데이터 기준 온실 열환경(온도, 습도) 제어 알고리즘 수립
  - 기존 대표 센싱 기반 온실 열환경 제어에 따른 온실 열환경 불균일에 따른 작물 생산성 및 품질 저하에 대응하기 위한 다중 위치 모니터링 기반 제어 알고리즘 수립 (아래 그림 2-4-5-4. 참고)
  - 기 개발 중인 정밀 센싱을 위한 이송모듈 플랫폼을 활용, 작물 베드별(최소 단위) 다중 위치에서의 온도 및 습도(추후 CO<sub>2</sub> 등으로 확대)값을 기준으로 한 온실 열 환경 균일화 제어 알고리즘 확립
  - 기 개발 중인 정밀 센싱을 위한 이송모듈 플랫폼을 활용, 작물 베드별(최소 단위) 다중 위치에서의 온도 및 습도(추후 CO<sub>2</sub> 등으로 확대)값을 기준으로 한 온실 열 환경 균일화 제어 알고리즘 확립 (아래 그림 2-4-5-5. 참고)
  - 이송 모듈을 통해 계측 가능한 n개의 계측 정보(베드 기준)를 이용하여 해당 베드의 균일도를 다음의 변수를 정의함 (아래 식 2-4-5-1 참고)

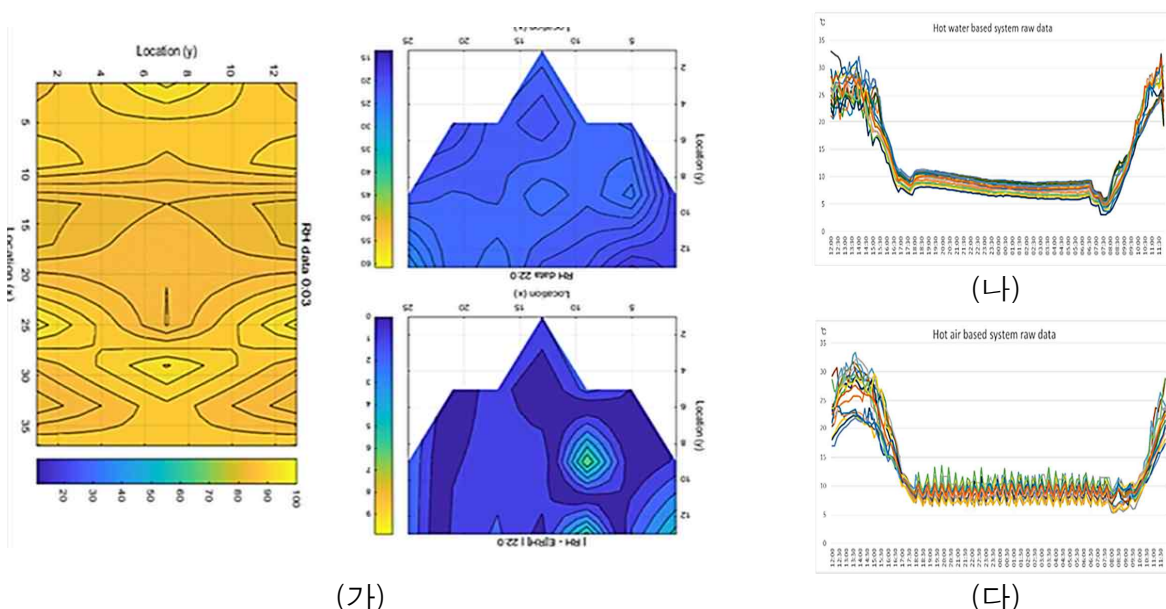


그림 2-4-5-4. 온실 내 열 환경 불균일도 계측 예: (가) 온도분포도, (나) 시계열 불안정 온도 변화, (다) 시계열 온도변화 안정화

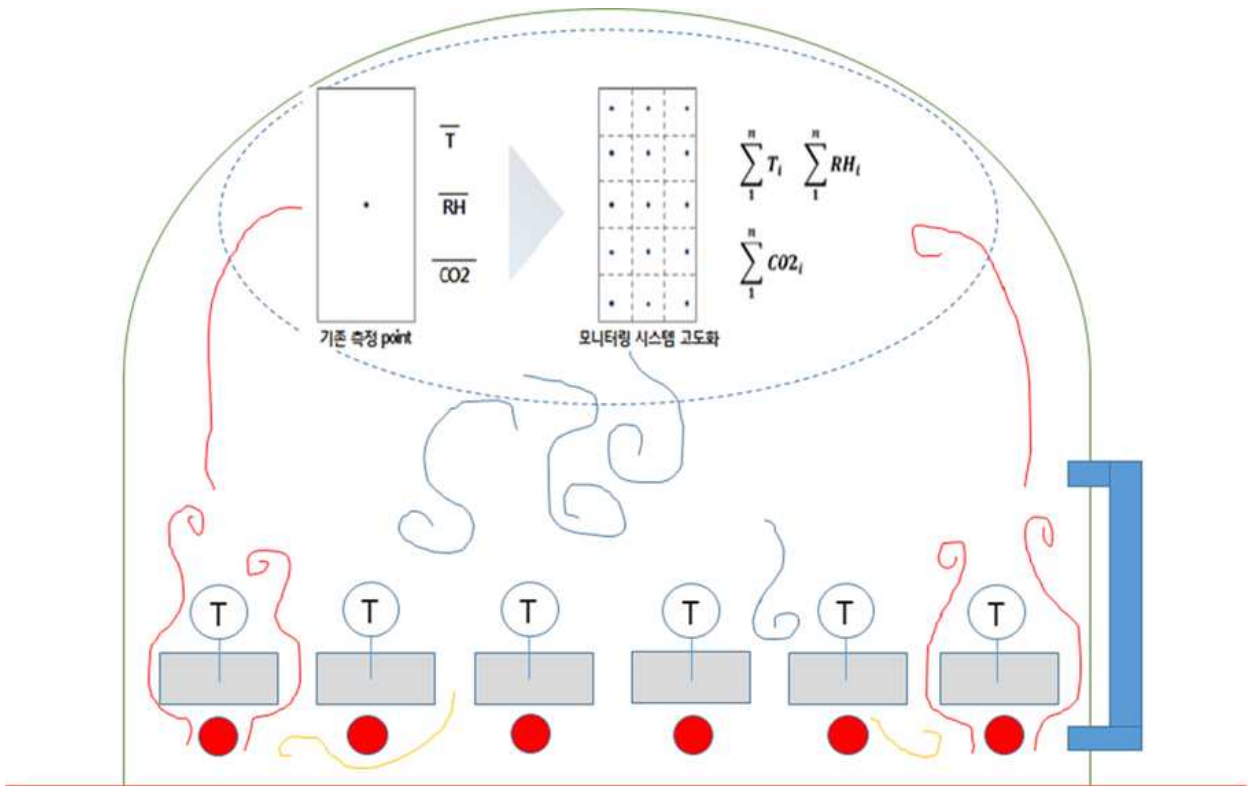


그림 2-4-5-5. 베드별 다중 위치 온습도 센싱 기반 온실 열환경 균일화 제어 개념도

$$U = \frac{\left( \sum_{i=1}^n \frac{(T_i - T_a)^2}{n} \right)}{T_a} \times 100 \quad (\text{식 2-4-5-1})$$

- U=f(x)에서 x는 온도(T), 상대습도(RH)로 선정하도록 하며, 추후 온실 내 이산화탄소 농도 등으로 확장 가능함
- Ui는 온실 내 i번째 베드의 열환경 변수 균일도를 의미하며, 각각의 베드에 설치되는 이송모듈에서 전송되는 데이터의 분산값의 정도를 기준으로 난방 및 제습 제어설비의 가동 제어와 연동이 될 수 있도록 3차 년도에 구현 예정

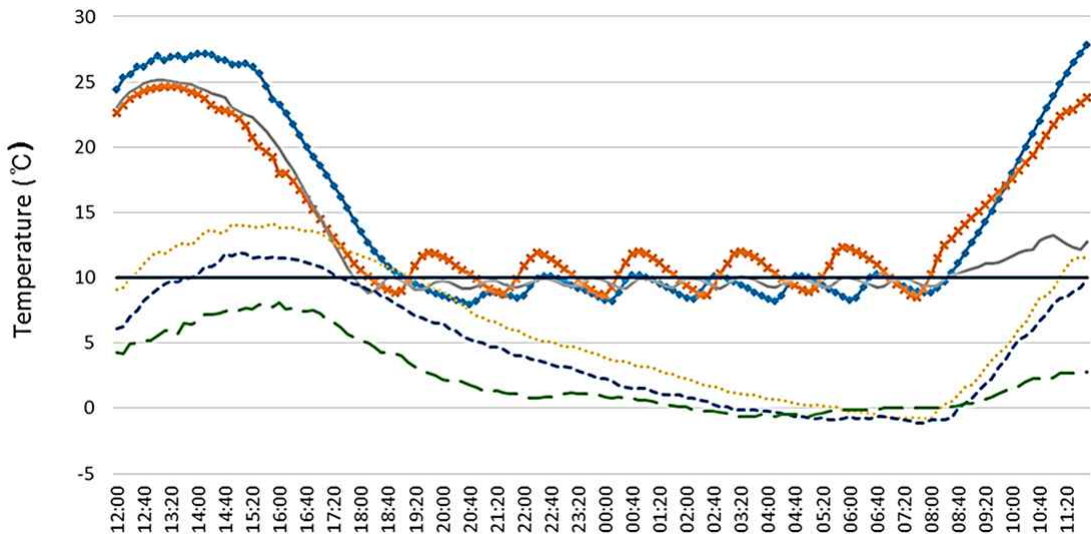


그림 2-4-5-6. 온실 내 열 환경 불균일도 제어에 따른 온도 변화 시뮬레이션 예

### (3) 온실 열 환경 제어시스템 연동 실증

#### ① 실증 온실 현장 설치를 위한 현장적용 시스템 시작품 제작

- 기 제작된 2차 시작품에 대한 기초 성능테스트 결과를 바탕으로 실증 온실 현장 적용을 위한 맞춤형 Pilot 시스템 설계하였음
- 최적의 온실 열 환경 제어 위치의 변동 (작물의 생장에 따른)성을 고려하여 이송 모듈이 이동하는 레일의 높이 조절이 가능하도록 설계하였음
- 실제 온습도 데이터 계측을 위한 센서 모듈을 이송모듈에 탑재하고 계측된 데이터를 무선 전송이 가능하게 하는 통신 모듈을 탑재한 이송모듈을 구현하였음
- **(시스템 상세스펙)** 현장 실증용 이송형 모듈 기반 정밀센싱 온실 현장 적용용
- 이송 시스템 단위 길이는 5.0 m이며 사용자의 사전제어 시퀀스에 의해 이송배관 내부에 탑재되는 이송모듈이 사용자가 사전 지정한 위치(다중 센싱 지점)에 정확하게 멈출 수 있도록 설계 및 제작하였음 (오차범위 5% 이내)
- 지정 위치 이동 후 팬 가동을 통해 이송시스템 배관 내부로 온실 내 공기가 유입 제어되도록 시스템을 구현하였음 (최소 20초 이상 공기 유입, 단 현장 열환경 측정상태에 따라 변경 가능)
- 팬 공기 유입으로 환기된 이송배관내 공기의 온도, 습도를 센싱할 수 있는 센서모듈은 이송모듈에 임베디드되어 다중 센싱 지점의 데이터를 계측할 수 있도록 구현하였음
- 상기 센싱한 데이터를 실시간으로 데이터 수집장치로 전송할 수 있는 통신모듈을 장착하여 실시간 데이터를 획득하며 현장에 별도 설치되는 데이터 수 집장치(PC 등)과 통신할 수 있는 기능을 지원하였음
- 리프트 모터, 와이어, 지지대로 구성되는 이송모듈 수직 이송시스템을 현장 적용 온실의 작물 생장 정도에 따라 위치조절이 되도록 구현하였음
- 현장 적용 온실 내 타 설비 등의 운전에 방해나 충돌 등으로 인한 시스템 손상이 발생하지 않도록 현장 환경에 대한 면밀한 검토 후 현장 설치가 될 수 있도록 필요한 설비를 구축, 테스트하였음 (아래 그림 2-4-5-7. 참고)
- 실증온실에서 벌레 등의 이송배관 내 유입에 따른 이송모듈의 거동에 장애요인이 발생하지 않도록 적정 수단을 구비하여 설치하였음 (아래 그림 2-4-5-8. 참고)

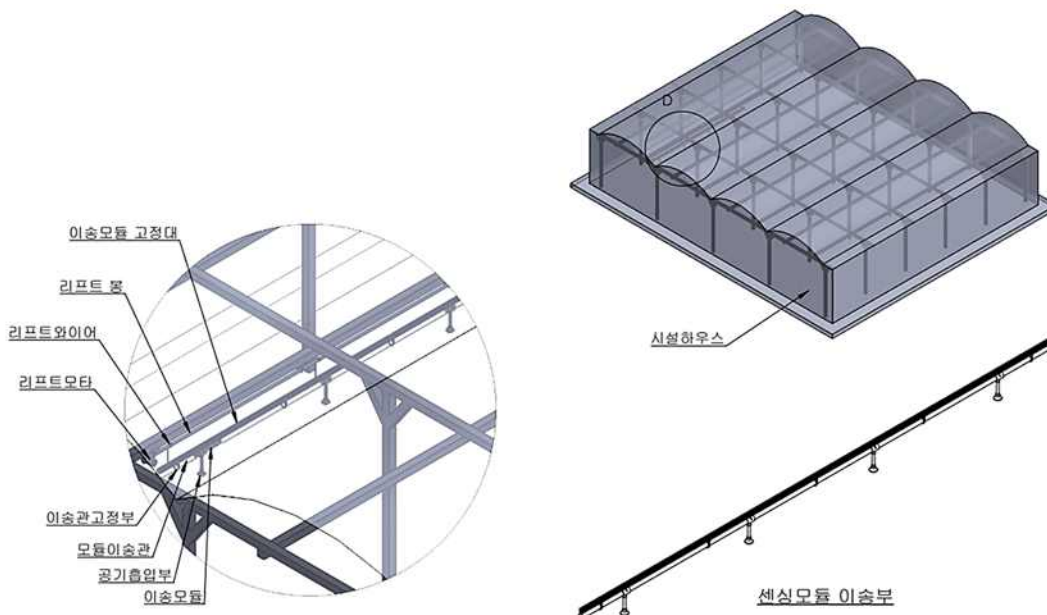
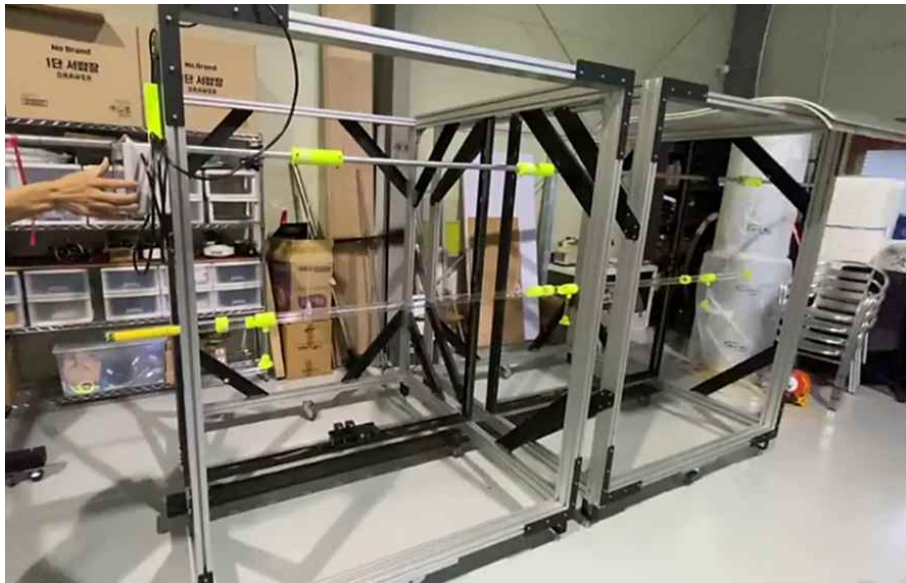


그림 2-4-5-7. 센싱이송모듈 온실내 설치 개념도



(가)



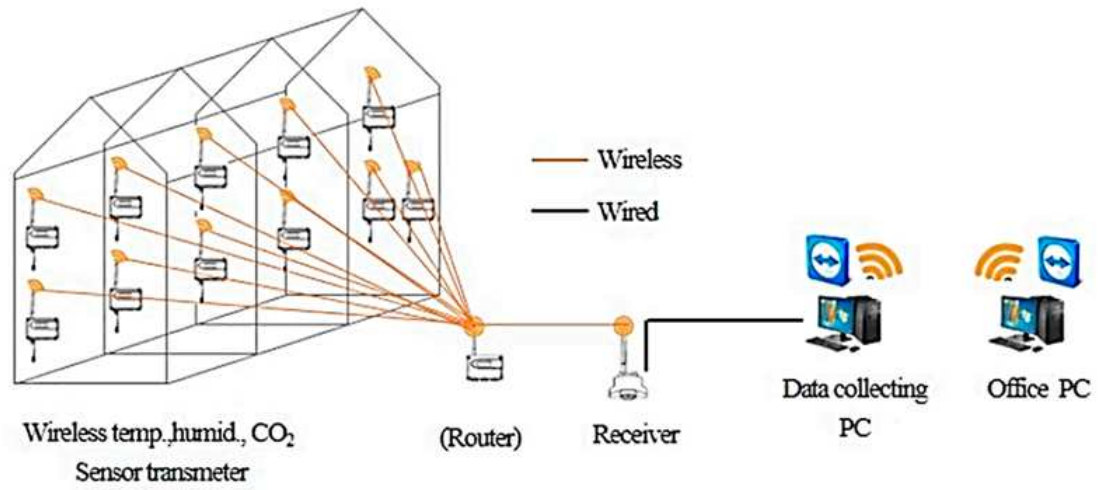
(나)

그림 2-4-5-8. 정밀센싱 이송모듈 모니터링 현장적용 Pilot 시스템: (가) 시스템 구동 전 전경, (나) 시스템 구동 중 외기 흡입시연

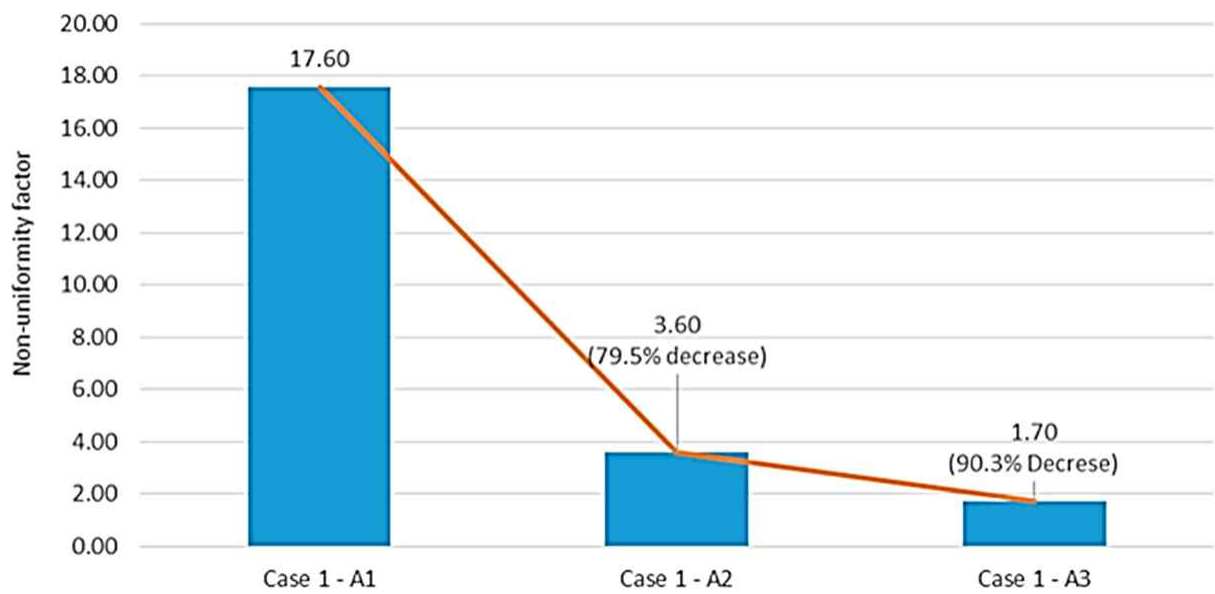
#### (4) 온실 열환경 정밀 모니터링을 통한 경제성 향상 방안

- ① 온실 내 열환경은 온실 종류, 적용 작물, 온실의 노후화 정도에 따라 균일도 측면에서 조건이 매우 상이하게 나타남
- ② 현재 온실 적용 대상인 화훼의 경우 실제 온실 내 열환경 불 균일도에 대한 실계측 결과를 바탕으로 정밀 열환경 모니터링에 기반한 제어 적용에 따른 경제성 향상(에너지절감 및 작물 생산성(혹은 품질) 검토가 필요함
- ③ 딸기를 대상으로 한 선행 연구 결과(SFS 융합연구사업, 2015~2018년)에 따르면 정치형 센서의 다중 설치와 모니터링 데이터를 근거로 온실 내 불균일도 개선 결과 에너지절감 약 30%, 생산성 향상 약 25%를 달성함
- ④ 당 실증연구에서 적용하고자 하는 화훼의 경우, 재배조건 등이 상이한 관계로 온실 열환경 정밀 모니터링 및 연동 제어를 통한 정량적 경제성 개선여부를 단정할 수는 없으나 최소 15~20% 내외의 에너지절감 효과 (온실 열환경 정밀제어를 통한 효과, 기타 열원 등의 효과는 별도)를 통한 에너지비용 절감에 기여할 수 있을 것으로 판단됨





(가)



(나)

그림 2-4-5-9. 다중 열환경 모니터링 개요 및 온실 열환경 정밀제어 적용에 따른 불균일도 개선 예 [출처: CK lee, YH Im et al. (2019) A study of the effects of enhanced uniformity control of greenhouse environment variables on crop growth, Energies, vol. 12]

[협동기관] 전북농업기술원 (기관별 핵심성과 위주 10쪽 이내 작성)

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용	연구결과
1단계 2차 년도 (2021)	생육 최적 환경 조건 설정 및 생산성 검정	작물의 생육 최적 환경 조건 탐색 및 설정	○실증 온실 식물체 주 변 기상환경과 근권 부 온도 조사	○재배 온실에 따른 식물체 미세 기상환 경(온도, 습도) 변화 조사 ○전주 화훼농가, 익산 전북도원, 완주 실증온실; 3개소 대상
			○기상환경(온도) 변화 에 따른 생리장해 발 생 양상 조사	○나리는 야간 생육온도가 20 ℃ 이상일 경우 고온 장해가 발생 ○야간온도가 높았던 온실1(전주)과, 온 실2(익산)에서 고온 장해 발생
			○기상환경 조사 지점 에서의 작물의 생육 및 생산성 평가	○재배 온실별 나리 생육, 품질 조사 결 과 온실의 야간온도가 낮고, 주야간온 도차(DIF)가 클수록 줄기 생장이 빠르 고, 품질이 우수하였음
			○최적 환경 설정을 위 한 자료수집 및 문헌 검색	○나리 줄기 신장에는 일평균기온, 주야 간온도차(DIF) 등이 복합적으로 관여 ○화아분화 이후부터 화뢰 출현까지 기 온이 높아질수록 기간이 단축됨
			○기상환경과 생산성을 비교 검토하여 생육 최적 재배환경 조건 설정	○나리의 생육 야간 적온은 10~15℃, 야간 20℃ 이상인 날이 상대적으로 많 았던 온실에서 생리장해 발생, 출뢰기 에는 야간온도 20 ℃ 이하 유지 필요

(1) 실증 온실 식물체 주변 기상환경과 근권부 온도 조사

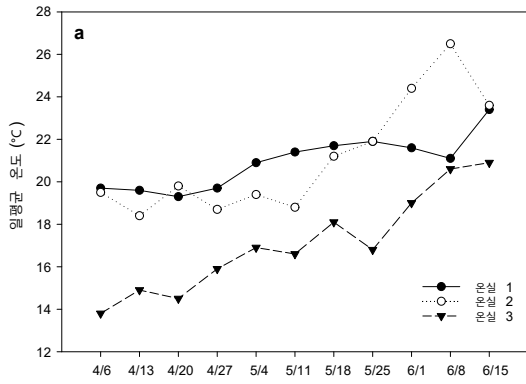
- ① 온실1(전주 화훼농가)은 일평균기온이 23 ℃, 야간온도는 17~25 ℃ 범위로 유지하였음
- ② 온실2(익산 전북도원)는 일평균기온이 21 ℃, 야간온도는 14~22 ℃ 범위로 유지하였음
- ③ 온실3(완주 청운농원)은 일평균기온이 18 ℃, 야간온도는 20 ℃ 내외로 유지하였음
- ④ 평균 일사량은 온실1이 172  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  이었고 온실3이 211  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  이었으며 온실2가 60  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 로 가장 낮았음 (아래 표 2-4-6-1. 및 그림 2-4-6-1. 참고)

표 2-4-6-1. 재배 온실의 시험기간 동안의 식물체 주변 기상환경 (2021년04월06일~06월21일)

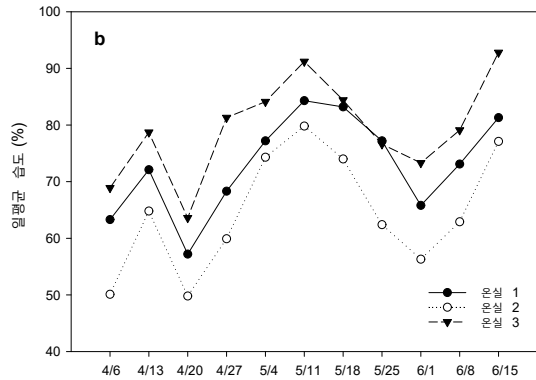
재배 온실	기상환경	온도 (℃)	일사량 ( $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ )	습도 (%)	근권부 온도 (℃)
온실1 (전주)		23.1	172.2	71.7	20.8
온실2 (익산)		21.9	60.6	61.9	19.9
온실3 (완주)		18.7	210.8	78.4	17.2

표 2-4-6-2. 재배 온실별 환경 조절 시설 및 조절된 야간온도 범위

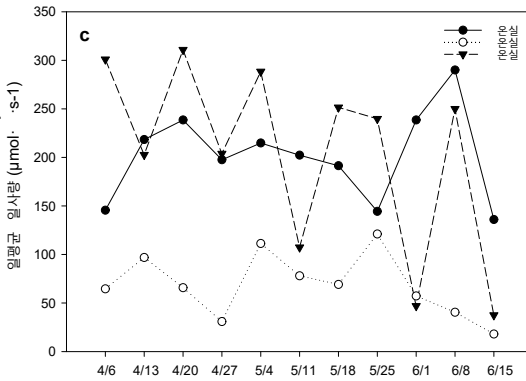
재배 온실	온실 형태	차광방법	습도조절	환기방법	야간온도범위
온실1	유리(벤로형)	알루미늄	미스트	천창	18.9~24.4 ℃
온실2	유리(벤로형)	알루미늄	미스트	천창	15.5~26.5 ℃
온실3	비닐(연동형)	다겹부직포	없음	천창, 측창	12.0~21.5 ℃



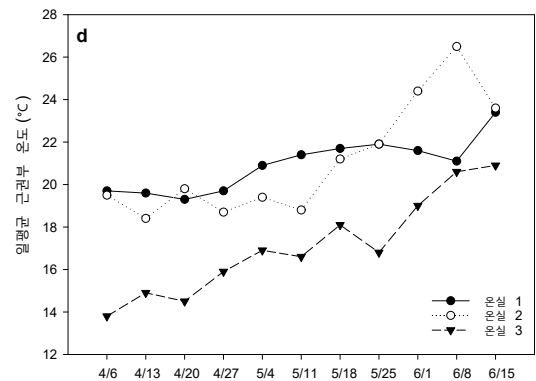
(가)



(나)

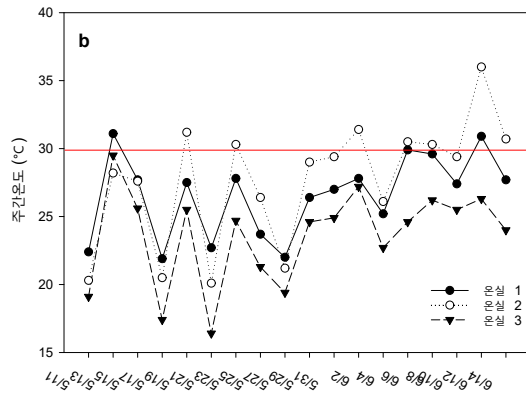


(다)

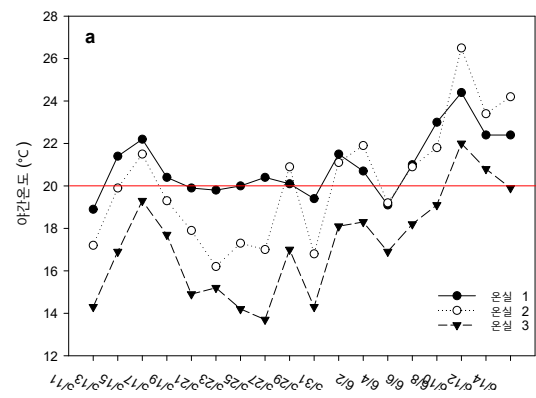


(라)

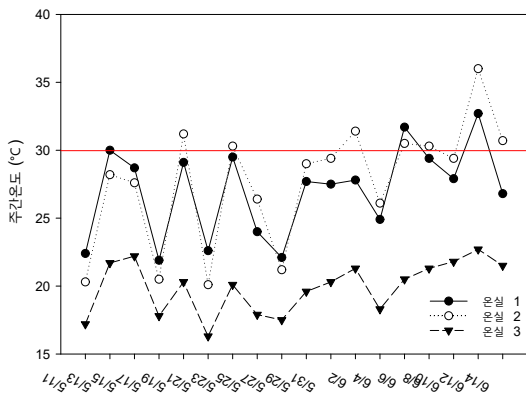
그림 2-4-6-1. 재배온실 별 시험기간 동안 식물체 주변 기상환경 변화: (가) 온도, (나) 습도, (다) 일사량, (라) 근권부 온도



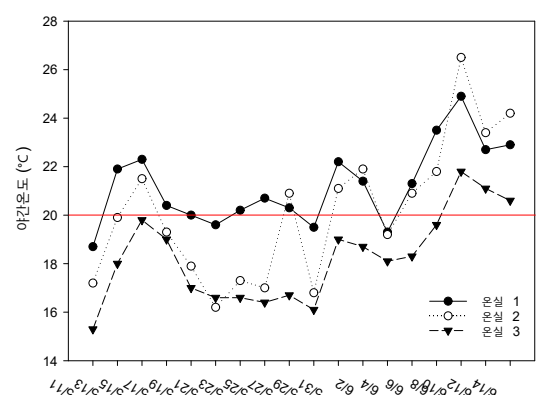
(가)



(나)



(다)



(라)

그림 2-4-6-2. 재배온실 별 출퇴기(꽃대 나오는 시기) 전후기간 동안(2021년05월11일~06월14일) 변화 양상: (가) 주간(07시~18시) 온도 변화, (나) 야간(18시~07시) 온도변화, (다) 주간(07시~18시) 근권부 온도변화, (라) 야간(18시~07시) 근권부 온도변화

표 2-4-6-3. 재배온실 출퇴기(꽃대 나오는 시기) 전후(2021년05월11일~06월14일) 주간 및 야간 생육 적온범위 이상일수

일수	재배 온실	온도		근권부 온도	
		주간온도 30℃ ↑	야간온도 20℃ ↑	주간온도 30℃ ↑	야간온도 20℃ ↑
온실1 (전주)		37일	23일	6일	25일
온실2 (익산)		34일	18일	12일	18일
온실3 (완주)		33일	6일	0일	7일

- ⑤ 재배온실 습도는 온실1이 72%, 온실2가 62%, 온실3이 78%를 유지하였음
- ⑥ 온실3은 포그시설과 같은 습도 유지를 위한 시설 부재로 변화가 컸고 높은 습도를 유지하였음 (위 표 2-4-6-2. 참고)
- ⑦ 재배온실 출퇴기(꽃대 나오는 시기) 전후(2021년05월11일~06월14일) 주간 생육 적온 범위 온도 이상인 일수는 온실1이 37일 온실2가 34일 온실3이 33일이었음
- ⑧ 특히 2021년06월17일~06월21일 사이에서 근권부 온도는 온실1이 21℃, 온실2는 20℃, 온실3은 17℃로 가장 낮았음
- ⑨ 야간온도가 20℃ 이상인 날은 온실1은 31일, 온실2에서는 20일, 온실3은 7일이었음 (위 표 2-4-6-3. 참고)
- ⑩ 나리 생육에 맞는 근권부 온도는 18℃ 내외이며, 20℃이상 야간온도 관측일이 많았던 온실1과 온실2에서 고온 장애로 인한 절화 생산 품질이 하락할 가능성이 커 보임

**(2) 기상환경(온도) 변화에 따른 생리장애 발생 양상 조사**

- ① 나리는 야간 생육온도가 20℃ 이상일 경우 고온 장애가 발생하였음
- ② 야간온도가 높았던 온실1과, 온실2에서 고온장애(기형화, 블라인드, 꽃봉오리 탈락 등)가 발생하였음 (아래 그림 2-4-6-3. 참고)
- ③ 야간온도가 생리장애를 발생시킬 수 있는 20℃ 이상인 날이 온실1과, 온실2에서 각각 25일, 18일이었음 (아래 표 2-4-6-4. 및 표 2-4-6-5. 참고)
- ④ 출퇴기(꽃대 나오는 시기)에 야간온도를 20℃로 유지하는 것이 품질 유지에 중요함

표 2-4-6-4. 재배 온실별 나리 정식일, 맹아시기, 출퇴시기 및 개화시기

재배 온실	정식일 (월.일.)	맹아기 (월.일.)	출퇴시기 (월.일.)	개화기 (월.일.)
온실1	04.06.	04.10~04.15	05.18~05.22	06.11~06.18
온실2	04.06.	04.18~04.22	05.23~05.27	06.17~06.18
온실3	04.06.	04.19~04.22	05.28~06.04	06.20~06.24



(가)



(나)



(다)

그림 2-4-6-3. 고온으로 인한 나리 생리장애: (가) 블라인드, (나) 기형화, (다) 엽소현상



표 2-4-6-5. 재배 온실의 품종별 생리장해 발생비율

품종	재배 온실	전체 소화 수 (소화수/주)*	생리장해	
			발생정도 (소화수/주)	발생률(%)
포에버 (Forever)	온실1 (전주)	4.8	1.2	25.0
	온실2 (익산)	4.7	0.6	12.5
	온실3 (완주)	4.9	0	0
콘코도르 (Concodor)	온실1 (전주)	3.4	1.2	35.1
	온실2 (익산)	3.9	0.6	15.0
	온실3 (완주)	4.8	0	0
소르본느 (Sorbone)	온실1 (전주)	8.3	5.1	61.5
	온실2 (익산)	7.6	0.8	9.9
	온실3 (완주)	7.1	0	0
타랑고 (Tarango)	온실1 (전주)	11.4	5.9	52.0
	온실2 (익산)	11.1	6.4	57.8
	온실3 (완주)	10.4	0.1	0

\* 나리 한 줄기에 있는 모든 소화의 수

(3) 기상환경 조사 지점에서의 작물의 생육 및 생산성 평가

- ① 재배 온실별 초장(줄기 길이)의 변화를 확인하기 위해 7일 주기로 조사한 결과 각 온실에서 유사한 양상을 보였음 (아래 그림 2-4-6-4. 참고)
- ② 초장은 주야간온도차(DIF)가 크고 야간온도가 20 °C 이상인 날이 적게 관찰되었던 온실3에서 모든 품종의 줄기가 길었음

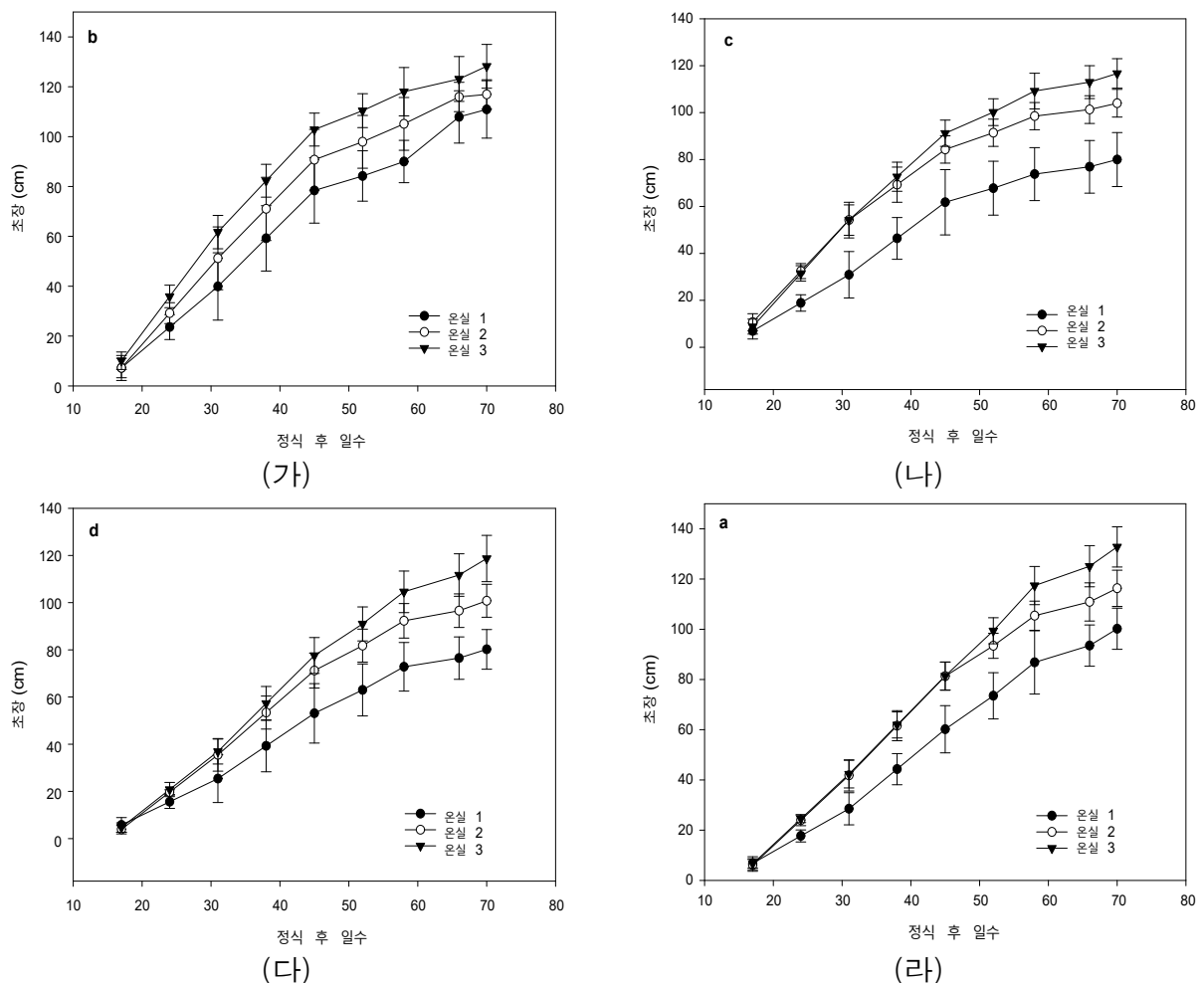


그림 2-4-6-4. 재배 온실별 초장(줄기 길이) 변화: (가) 포에버(Forever), (나) 콘코도르(Concodor), (다) 소르본느(Sorbone), (라) 타랑고(Tarango)

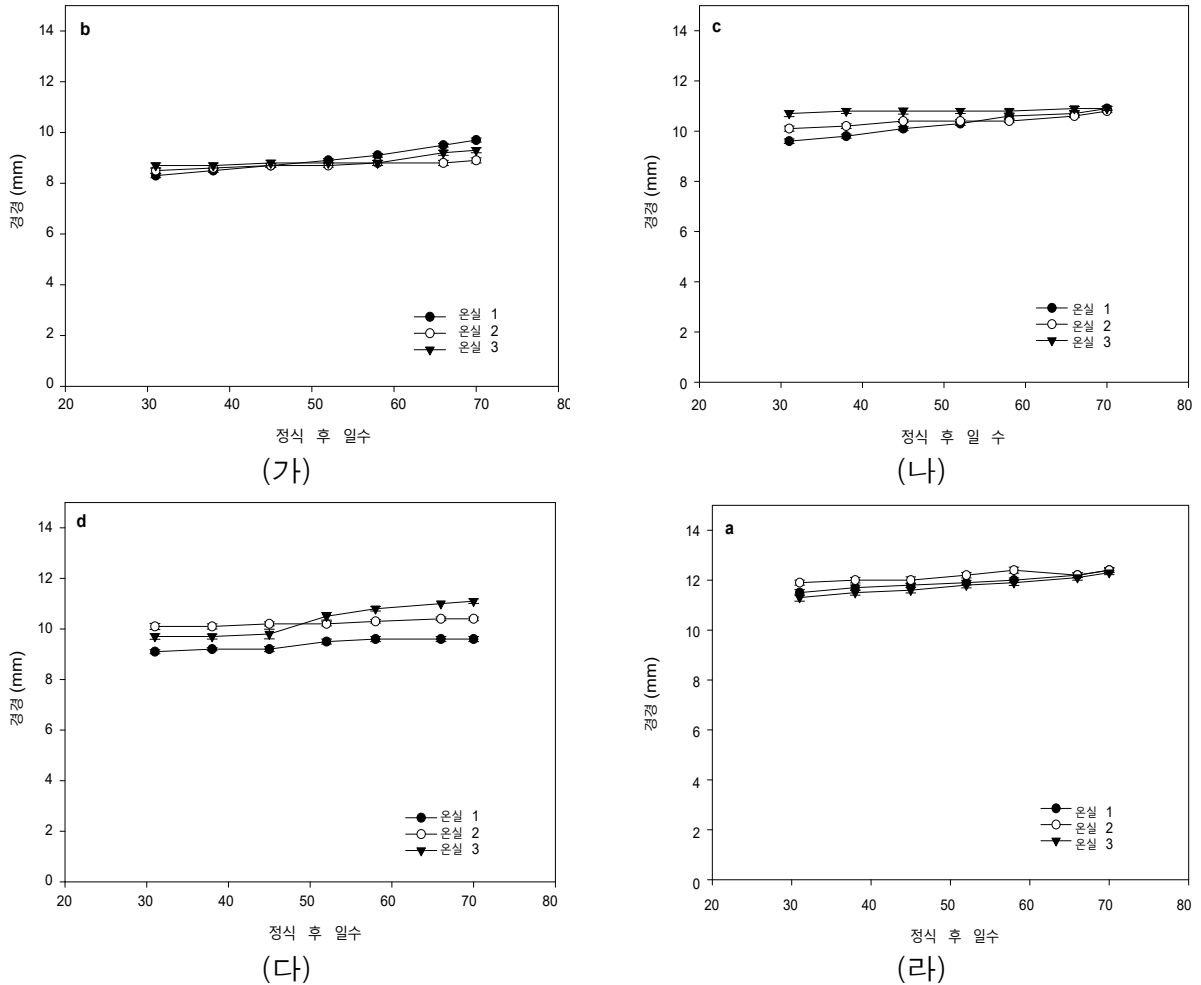


그림 2-4-6-5. 재배 온실별 줄기 굵기(경경) 변화: (가) 포에버(Forever), (나) 콘코도르(Concodor), (다) 소르본느(Sorbone), (라) 타랑고(Tarango)

- ③ 재배 온실별 나리 품종의 줄기 굵기의 변화는 길이생장과 달리 특별한 경향을 보이지 않았음 (아래 그림 2-4-6-5. 참고)
- ④ 일평균온도가 낮고, 주야간온도차(DIF)가 큰 온실3의 줄기가 가장 길었고, 주야간온도차(DIF)가 클수록 줄기생장이 빠르다는 결과와 일치함
- ⑤ 재배 온실별 나리 생육, 품질 조사 결과 온실의 야간온도가 낮고, 주야간온도차(DIF)가 클수록 줄기 생장이 빠르고, 품질이 우수한 것으로 생각됨

#### (4) 기상환경 조사 지점에서의 작물 생산성(절화 품질) 평가

- ① ‘타랑고’ 품종을 제외한 나머지 품종은 일평균기온이 21 °C로 유지하는 온실2에서 절화장이 길었지만 절화장은 수확 후의 길이로 수확 위치에 따라 달라진 것으로 보임 (아래 표 2-4-6-6. 참고)
- ② 온실3에서 온실1과 온실2보다 절화중, 화고, 소화수, 꽃목길이 등 절화 품질 우수한 경향을 나타내었음
- ③ 재배온도와 절화 품질을 좌우하는 요인 중 소화수를 제외한 절화장, 절화중, 화뢰장, 화목 길이모두 관계가 깊은 것을 확인하였음
- ④ 나리의 품질을 결정하는 절화중, 화고, 소화수, 꽃목길이 등이 일평균온도가 낮고, 주야간온도차(DIF)가 컸던 온실 3에서 우수한 경향을 나타내었음

표 2-4-6-6. 품종별 재배 온실에 따른 절화 품질 간 관계

품종	재배 온실	절화장 (cm)	절화중 (g)	화뢰장 (cm)	소화수 (개/주)	화목길이 (cm)	엽수 (개/주)
포에버	온실1*	89.7 c**	153.8 b	12.2 b	3.9 a	9.5 b	67.0 a
	온실2	101.3 a	148.8 b	12.3 b	3.9 a	9.2 b	66.4 a
	온실3	95.8 b	173.9 a	14.1 a	3.9 a	12.3 a	50.4 b
콘코도르	온실1	71.8 c	152.6 b	11.1 b	3.6 b	8.1 b	66.3 a
	온실2	92.6 a	156.8 b	10.4 c	4.0 b	6.6 c	68.3 a
	온실3	85.7 b	203.7 a	12.6 a	4.8 a	10.2	56.4 b
소르본느	온실1	70.0 c	113.5 c	9.8 b	3.4 c	3.0 c	67.1 a
	온실2	92.6 a	137.6 b	9.7 b	5.9 b	7.0 b	64.0 b
	온실3	85.7 b	159.4 a	11.2 a	7.0 a	9.7 a	49.0 c
타랑고	온실1	86.8 b	173.3 b	9.8 b	6.0 b	5.3 b	103.0 a
	온실2	101.5 a	166.0 b	8.7 c	5.4 b	4.8 b	101.8 a
	온실3	104.7 a	236.9 a	11.1 a	10.3 a	7.7 a	72.1 b

Significance

품종 (A)	∞∞	∞∞	∞∞	NS	∞	∞∞
재배온도 (B)	∞∞	∞	∞∞	NS	∞	∞∞
A × B	∞∞	∞∞	∞	∞∞	∞∞	∞∞

\* 온실1(19~27 °C), 온실2(16~27 °C), 온실3(12~25 °C)

\*\* Duncan's multiple range test at  $p < 0.05$

∞ = Significant at  $p < 0.05$

∞∞ = Significant at  $p < 0.01$

#### (5) 최적 환경 설정을 위한 자료수집 및 문헌검색

- ① 나리는 싹이 튼 후 생육 적온이 주간 20~25 °C, 야간 10~15 °C의 낮은 온도가 필요하며, 주간 30 °C, 야간 20 °C의 조건에서는 고온 장애로 인해 개화율이 떨어짐(RDA, 2003)
- ② 나리 줄기 신장에는 일평균기온, 주야간온도차(DIF) 등이 복합적으로 관여한다고 알려짐(Erwin and Heins 1990)
- ③ 나리 구근의 춘화처리 후부터 화아분화 전까지 영양생장 단계인데 이때의 생육 최적 온도는 10~12 °C이지만 초기 영양생장 시기 높은 토양 온도는 줄기 신장을 억제하고 잎의 품질 하락의 원인(Erwin and Heins, 1990; De Hertogh and wilkins, 1970; Karlsson et al., 1988)
- ④ 나리의 화아분화, 잎의 전개, 줄기의 길이생장은 일평균기온과 양의 선형함수 관계를 보임
- ⑤ 화아분화 이후부터 화뢰 출현까지 기온이 높아질수록 기간이 단축됨(Erwin and Heins 1990)
- ⑥ 나리의 절화 생산성에 미치는 기상요인은 기온, 지온, 상대습도, 일사량 등 다양하지만, 기온과 일사량이 주된 환경요인으로 구근의 성장과 발육과 관계가 매우 높음(Ottman et al. 2012)

## 2-5. (2단계 1차년도) 연구수행과정 및 내용 (2022년 수행)

[주관기관] 한국에너지기술연구원 (기관별 핵심성과 위주 10쪽 이내 작성)

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용	연구결과
2단계 1차 년도 (2022)	바이오설비 융복합 온실 에너지 관리 실증모델 개발	실증 플랫폼 운전 데이터 분석	○융복합 에너지 흐름 모니터링 및 관리	○실증온실 및 기계실 설비 운전 모니터 링 플랫폼 구축
			○히트펌프 융복합 에 너지 변환 관리	○히트펌프 설비 에너지 생산 및 변환 성 능측정, 분석 및 평가
			○바이오 설비 에너지 생산 관리	○외부환경 변화 대응 국부 복사난방 생 육환경제어 성능측정, 분석 및 평가
			○융복합 에너지팜 장 기 운전 성능 예측	○실증온실 계간축열 열분포 3D 해석 ○실증온실 계간축열 운전성능 1D 예측

### (1) 융복합 에너지 흐름 모니터링 및 관리

① 융복합 에너지 생산, 변환 및 공급모델 개발

#### - (스마트팜 에너지 공급 및 저장 모델제시)

본 연구과제에서는 전라북도 완주군 장거리 1187에 소재한 0.3 ha급 플라스틱 온실(청운flower)에 300 Mcal/hr급 **대수층 계간축열** 설비(ATES; Aquifer thermal energy storage system), **하천수열** 히트펌프(HTHP; Hydrothermal heat pump), **목재펠릿** 보일러(WPB; Wood pellet boiler) 융복합 재생에너지 생산, 변환 및 저장 설비를 (2022년 상반기) 구축하고 (2022년 하반기) 실증 완료함 (아래 그림 2-5-1-1, 7, 8. 참고)

- 이를 통해 3종의 재생에너지 생산 및 열에너지저장 기술 기반의 새로운 스마트팜 에너지 공급모델을 제시하였으며 이를 **융복합 에너지팜**으로 명명함



(가)



(나)

그림 2-5-1-1. 융복합 에너지팜 열생산, 변환 및 저장 설비 전경; (가) 왼쪽 하천수 취수정, 가운데 ATES 양정 및 오른쪽 목재 펠릿보일러 설치 기계실, (나) 기계실 내 20 RT급 히트펌프 4대 및 53 kW<sub>th</sub>급 목재 펠릿보일러 1대 구축





(가)



(나)

그림 2-5-1-2. 융복합 에너지팜 열이용 설비 및 모니터링 설비 전경: (가) 대류 냉난방 및 복사 난방 하이브리드 온실 공조설비 구축, (나) 생육환경 모니터링 플랫폼

- 온실 공급 열량의 80% 이상을 차지하는 대수층 계간축열 설비(이하, ATEs)는 최대 양수량 약 900 ton/day, 최대 주입량 약 750 ton/day 급으로 본공 6개와 보조공 8개로 구성됨 [그림 2-5-1-1. (가) 참고]
- ATEs 본공 1번 공은 관측공, 2~3번 공은 온수정, 4~6번 공은 냉수정 역할을 하며 보조공 8개는 주입성능을 보완하는 역할을 수행함
- ATEs 온수정(본공 2~3번) 또는 냉수정(본공 4~6번공)에서 나온 온 또는 냉 지하수는 기계실 내 설치된 20 RT급 4~5대의 히트펌프를 거쳐 온실로 온열 또는 냉열을 공급하고 이후 대기열을 흡열하여 반대편 본공 또는 보조공으로 주입됨으로써 지중 열저장 및 재활용됨 [그림 2-5-1-1. (나) 참고]
- 하절기 또는 동절기 ATEs의 보조열원으로 활용되는 하천수열 히트펌프(이하, HTHP) 및 목재펠릿 보일러(이하, WPB)는 각각 20 RT 및 53 kW<sub>th</sub>급으로 구축하여 ATEs 정비 또는 비상시에도 온실 냉난방을 수행할 수 있음
- 본 융복합 에너지팜의 최대 장점은 전국에 산재한 **기존 플라스틱 온실도** (지역 실정에 맞는 재생에너지원 구성으로) **에너지 자립형 스마트팜**으로 **리모델링** 가능성을 증명한 것임
- **(온실 에너지 활용 설비구축)** 온실 작물(백합, 튜립, 후리지아 등 구근류 화훼) 생육을 위한 적정 온습도 환경(대략 15~25 °C)을 조성하기 위해 기류열전달 방식과 복사열전달 방식을 융합한 하이브리드형 공조시스템을 실증온실에 설치함
- 히트펌프와 연계한 무축열조 방식의 대류형 실내공조기는 4 RT(냉방: 11.0 kW, 난방: 12.8 kW)급 20대와 5 RT(냉방: 14.5 kW, 난방: 16.3 kW)급 6대를 조합하여 온실 상부 구조물(바닥부터 약 2.5 m 높이)에 2021년 하반기 설치하였으며 2022년 상반기 융복합 에너지 설비와 연계하여 실증 완료함 [위 그림 2-5-1-2. (가) 참고]
- 무축열조 방식의 대류 및 복사 하이브리드형 온실 공조기술 적용 전후의 온실환경 변화는 2021년 상반기에 설치하여 및 과제 수행기간 중 점진적으로 개선한 생육환경 모니터링 플랫폼을 활용하였음 [위 그림 2-5-1-2. (나) 참고]

- 무축열조 방식의 대류 및 복사 하이브리드형 온실 공조기술 적용 효과로 (100 RT급 히트 펌프 용량에 대응하는 100 ton급) 축열조 설치 부피(가로, 세로, 높이 각 5 m)를 절약할 수 있었고 기류식 공조를 통해 (30분 이내) 빠르고 (수평방향 온도편차 2 °C 이내) 균일한 생육환경 제어를 가능하게 함

② 융복합 에너지 흐름 모니터링 플랫폼 개발

- **(온실 에너지 모니터링 하드웨어 설비구축)** 온실 내외부 환경 모니터링을 넘어서 기계실과 연계한 전반적인 에너지 흐름을 측정 및 분석하기 위해 온실 에너지 모니터링 하드웨어 장치를 (2022년 상반기) 구축하여 (2022년 하반기) 점차 개선함 (아래 그림 2-5-1-3. 참고)
- 온실 에너지 모니터링에 사용한 장비로 온도센서(Dual RTD; SENTECH eng., Bucheon, Korea), 유량계(LF620; Toshiba co., Tokyo, Japan), 전류측정기(TU-20P5A; Topstek co., Taoyuan, Taiwan), 조도센서(ALS20; Infwin, Endeavour tech. co., Dalian, China) 등이 있음
- 융복합 에너지팜 에너지 흐름 관리를 위한 각종 센서류는 설치전 교정 및 성적서를 발급 받았으며 조도센서의 경우 기 보유 일사량계(SL100; Kimo co., Montpon, France)로 비교측정 및 교정하였음 [아래 그림 2-5-1-3. (가)~(라) 참고]
- ATES 양정에서 공급되는 지하수 유량 측정은 지중에서의 기체 및 고체 등의 다상 물질이 액상과 함께 이송되는 경우를 대비해 전자기방식의 액체용 유량계를 사용함



(가)



(나)



(다)



(라)

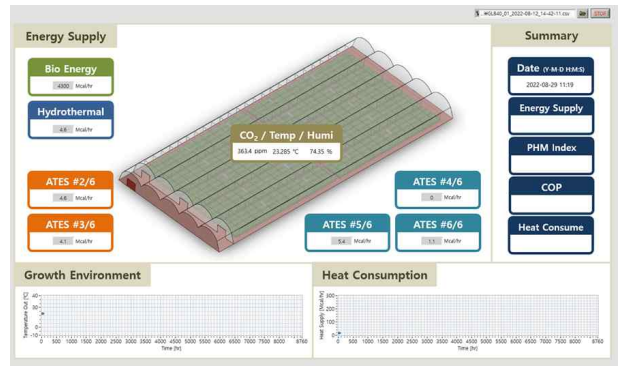


그림 2-5-1-3. 융복합 에너지팜 모니터링 하드웨어(HW) 플랫폼 구축: (가) 대기 및 하천수 온도센서(RTD) 설치, (나) ATES용 전자기 유량센서 교정성적서 발급 및 설치, (다) 기계실 및 온실 설치 센서 연결 공사, (라) 온실 내부 설치 광센서 교정실험





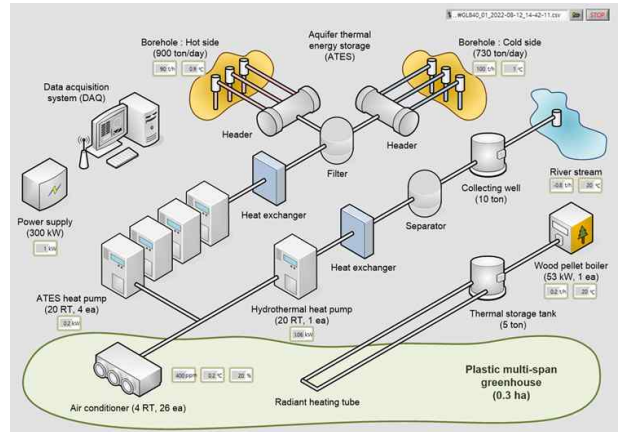
(가)



(나)



(다)



(라)

그림 2-5-1-4. 융복합 에너지팜 모니터링 소프트웨어(SW) 플랫폼 구축: (가) 데이터-베이스-매니지먼트-시스템(DBMS) 설치, (나) 온실 에너지 흐름 DBMS 인터페이스, (다) 작물 생육환경 DBMS 인터페이스, (라) 설비 운전정보 DBMS 인터페이스

- **(온실 에너지 모니터링 소프트웨어 설비구축)** 온실 및 기계실에서 측정된 에너지 흐름을 저장하고 일련의 경향성을 도출하여 가시화함으로써 관련 이해당사자에게 통찰력 (Business insight)을 제공할 수 있는 이용자별 정보집합체 관리 체계(이하, DBMS; Database management system)를 구축함 [위 그림 2-5-1-4. (가) 참고]
- 먼저 온실 전반의 에너지 공급, 변환 및 사용에 관련된 에너지 흐름을 일목요연하게 보여주는 사용자 화면(User interface)을 제작함
- ATEs 각 양정에서 양수되는 지하수와 하천수의 온도 및 유량을 통한 열량뿐만 아니라 히트펌프에서의 변환량 및 목재펠릿 보일러에서 공급되는 열량을 총괄적으로 정리하여 가시화함 [위 그림 2-5-1-4. (나) 참고]
- 다음으로 농장주 또는 작물재배 종사 관련 담당자들의 관심 사항을 반영한 온실 내외부 생육환경정보 사용자 화면을 제작함
- 생육환경정보 사용자 화면에는 온실 외부에서의 ATEs 각 본공 및 하천수 온도와 대기 온, 온실 내부 각 구역에서의 온도와 온실 중심부에서의 일사량과 이산화탄소 및 이산화탄소 농도 등의 정보를 담고 있음 [위 그림 2-5-1-4. (다) 참고]
- 마지막으로 스마트팜 에너지 설비 담당자들의 관심 사항을 반영한 융복합 에너지 설비 사용자 화면을 제작함 [위 그림 2-5-1-4. (라) 참고]
- 융복합 에너지 설비 사용자 화면에는 각 재생에너지원에서의 온도 및 유량 등 열량과 기계실에 설치된 히트펌프 및 목재펠릿 보일러 등 설비 운전정보와 온실 열 공급과 관련한 공조설비 전력사용량 등의 정보를 가시화하였음

(2) 히트펌프 융복합 에너지 변환 관리

① ATES 연계 온실 냉난방 운전 최적화 기술 교류

- **(온실 냉난방 운전 최적화 워크숍)** 완주 소재 실증온실에서의 에너지 설비구축이 순조롭게 진행됨에 따라 향후 구축설비의 강건한 운영을 위한 연구 및 탐색 활동의 일환으로 대한기계학회 2022년도 신뢰성 부문 춘계학술대회에서 특별워크숍을 개최함
- 본 워크숍은 2022년 03월 23일 수요일에 제주특별자치도 제주시 탐동로 47 제주오리엔탈 호텔 2층 제1발표장(한라홀1)에서 “융복합 에너지팜의 지속가능한 발전을 위한 신뢰성 향상 방안”이라는 주제로 개최되었으며 6개 본 과제 참여기관 세부 주제별 발표와 참석자 간 토론이 이어졌음 [아래 그림 2-5-1-5. (가) 참고]
- 당일 워크숍과 더불어 융복합 에너지팜의 지속가능한 발전을 위한 제주 발전소 온배수를 이용한 설비 현장(에너지 설비 및 온실)을 방문함
- 해당 발전소온배수 생산설비는 한국중부발전 제주본부 입구에 소재하며 발전소에서 배출되는 열원을 히트펌프로 열교환 및 승온하여 주변 (삼양일동 소재) 화훼온실에 공급하고 있었으며 현장방문을 통해 융복합 에너지팜의 실증사례를 알리고 운영노하우 및 애로사항 등을 논의하는 등 상호교류 시간을 가짐 [아래 그림 2-5-1-5. (나) 및 (다) 참고]



(가)



(나)



(다)

그림 2-5-1-5. 융복합 에너지팜 냉난방 설비 운용 최적화 전문가 기술교류회: (가) 대한기계학회 신뢰성부문 2022년 춘계학술대회 스마트팜 특별워크숍 개최 (제주 오리엔탈 호텔), (나) 발전 온배수 활용 에너지 공급설비 방문 (한국중부발전 제주 발전본부), (다) 발전 온배수 활용 에너지 활용 실증온실 방문 (제주시 삼양일동)





(가)



(나)



(다)



(라)

그림 2-5-1-6. 융복합 에너지팜 냉난방 설비 성능보완 및 최적화: (가) 설비 시운전 결과 논의, (나) 대수층 계간축열(ATES) 본공 및 보조공 보강공사, (다) 운전 결과 보완 후 하천수열 연계 시운전, (라) 목재 펠릿보일러 자동제어 보완공사

② ATES 연계 온실 냉난방 운전 실증

- **(온실 냉난방 운전 성능보완)** 2022년 상반기 융복합 에너지팜 에너지 생산, 변환 및 온실공급 설비를 구축하고 당해년 03월17일 목요일 참여기관 담당자[(주)지엔에스엔지니어링, 한국지질자원연구원, (주)센도리] 및 농장주(청운flower) 참석 하에 시운전을 실시함 [위 그림 2-5-1-6. (가) 참고]
- 이후 온실의 생육환경 및 실증온실 작물재배(전라북도농업기술원, 청운flower) 상황을 보아가며 온실 및 기계실 설비 운전을 반복하여 성능을 점검하고 이어 발생하는 문제점을 보완하기 위해 ATES 본공 및 보조공 보강공사[(주)지엔에스엔지니어링], 하천수 취수 및 배수 시설 안정성 강화[(주)센도리], 기설치 센서 개선[숙명여자대학교] 등의 작업을 협업함 [위 그림 2-5-1-6. (나), (다) 참고]
- 한국에너지기술연구원에서는 2020년 하반기 구입하여 당해년 09월22일 성능시험을 완료하고 2021년 10월19일 현 실증온실 기계실에 설치한 목재펠릿 보일러를 제어하기 위해 기설치 설비(기계실 및 온실 복사난방용 배관) 연결작업을 협동기관[(주)센도리]과 함께 수행함 [위 그림 2-5-1-6. (라) 참고]
- 이후 (2022년 하반기) 동절기 작물 출하 기간 중 온실 난방 시운전을 통해 목재펠릿 보일러 구동에 따른 복사튜브 이용 온실난방 성능 및 효과를 실증하여 확인함 (아래 그림 2-5-1-8. 참고)

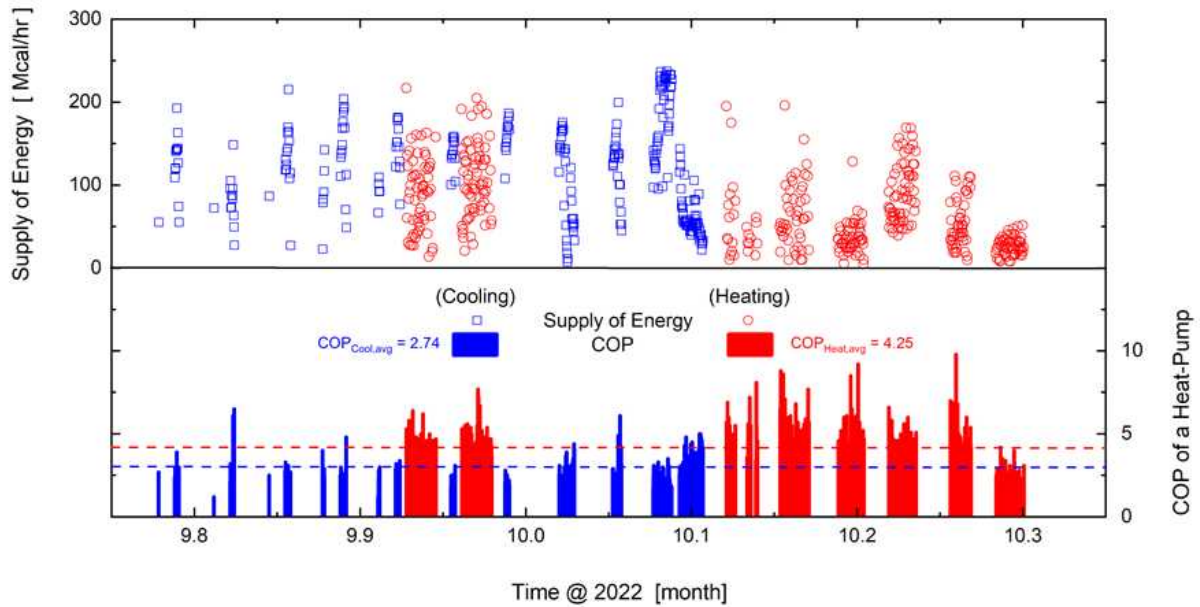


그림 2-5-1-7. 융복합 에너지펌 냉난방 설비 운전 및 성능측정: 온실 냉난방 열생산, 변환 및 저장 실증결과

- **(온실 냉난방 운전 성능측정)** 융복합 에너지펌의 에너지 생산, 변환 및 공급 관련 운전성을 확인하기 위해 2022년 09월~10월 종합성능 실험을 수행함
- 본 연구과제 수행 컨소시움에서는 에너지 공급의 상당한 부분(80% 이상)을 담당하고 있는 ATES를 이용하여 하절기 및 동절기 냉난방후 각각의 온열과 냉열을 지열공에 계절간 저장하여 이듬해 동절기 및 하절기에 활용하고자 의도하였으나 과제 기간 내에 실증온실에서 화훼작물 상업재배에 활용함으로써 신규 설치 설비가 작물생육에 미치는 영향을 확인해 보고자 하는 농장주 의견을 반영하여 하절기와 동절기 사이 간절기인 2022년 09월 중순부터 10월 중순까지 융복합 에너지펌의 온실 냉난방 운전 성능측정을 관련기관[(주)센도리, (주)지엔에스엔지니어링, 청운flower]과 함께 수행함
- 융복합 에너지펌 에너지설비 간절기 운전결과 ATES를 이용한 에너지 (냉열) 공급량은 약 260 Mcal/hr 이상이었으며 평균 성능계수(COP; Coefficient of performance)는 냉방의 경우 약 2.7이었고 난방의 경우 약 4.2이었음 (위 그림 2-5-1-7. 참고)

### (3) 바이오 설비 에너지 생산 관리

#### ① 바이오 설비 온실 열공급 실증

- **(복사튜브 난방 기술 적용)** 목재펠릿 보일러를 이용한 난방 성능을 확인하고자 2022년 12월 중순 복사관을 이용한 온실 온열 공급 실험을 관련기관[(주)센도리, 청운flower]과 함께 수행함 (아래 그림 2-5-1-8. 참고)
- 그림 2-5-1-8.은 바이오 설비(목재 펠릿보일러) 연계 복사튜브 난방 운전 실증결과로 (가)는 2022년 12월 온실 실내외 평균온도 측정 결과이고 (나)~(라)는 2022년 12월 17일 06시, 12시, 18시, 24시에 측정한 온실 내 시간대별 온습도 분포 결과임
- 목재펠릿 보일러와 연결한 복사난방관은 그림 2-5-1-8. (나) 좌측 온실 온도 분포 그림에서 좌측(x=0 m; 북쪽)과 우측(x=35 m; 남쪽)에 설치하였음
- 일중 평균 외기온이 영하로 떨어진 2022년 12월 17일 온실 남쪽만 복사관 난방을 운전하여 북측면에서의 결과와 비교하였으며 이를 통해 동절기 온실 측장에서 열손실 보완과 복사난방 효과를 확인함 (각 온습도 분포 그림의 좌측은 복사튜브 난방 미적용, 우측은 복사튜브 난방 적용)
- 53 kW<sub>th</sub>급 목재펠릿 보일러 이용 에너지 공급량은 43 Mcal/hr (약 50 kW<sub>th</sub>) 이상이였음

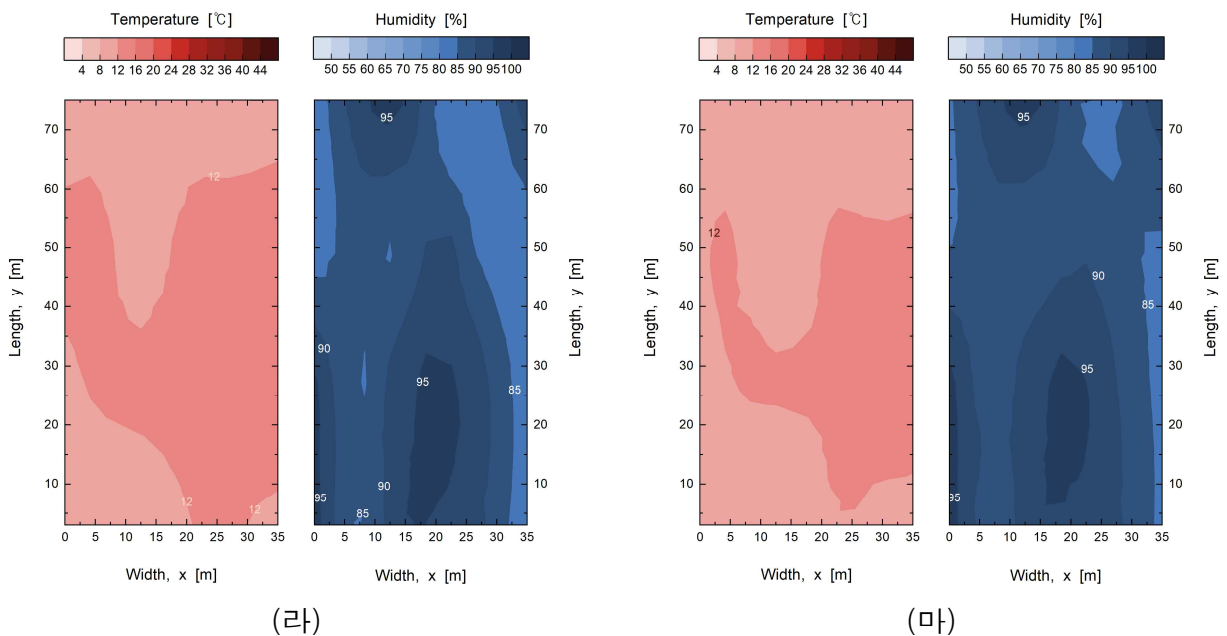
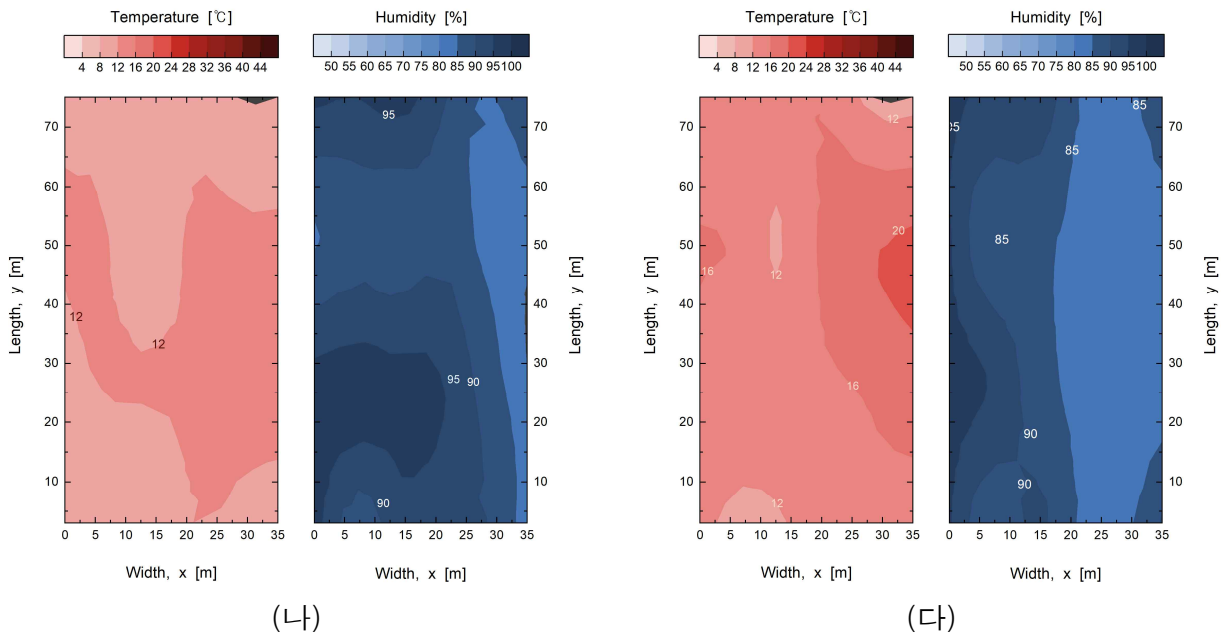
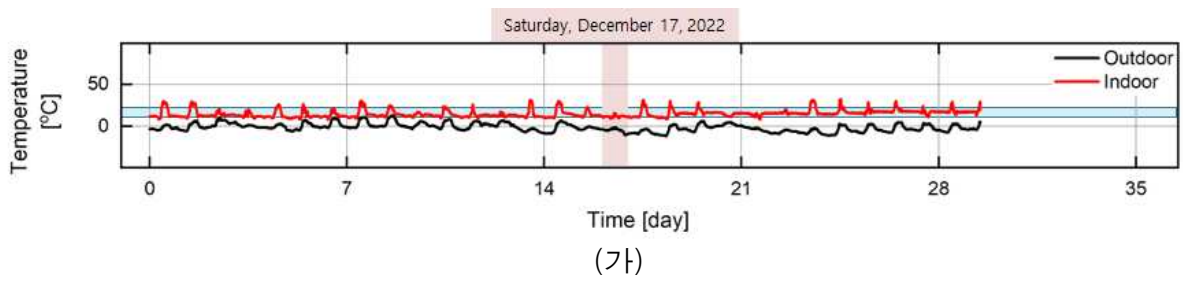


그림 2-5-1-8. 바이오 설비(목재 펠릿보일러) 연계 복사튜브 난방 운전 실증결과: 2022년 12월 온실 실내외 (가) 평균온도 측정 결과 및 2022년 12월 17일 온실 내 시간대별[(나) 06시, (다) 12시, (라) 18시, (마) 24시] 온습도 분포 측정 결과 (각 온습도 분포 그림의 좌측은 복사튜브 난방 미적용, 우측은 복사튜브 난방 적용)

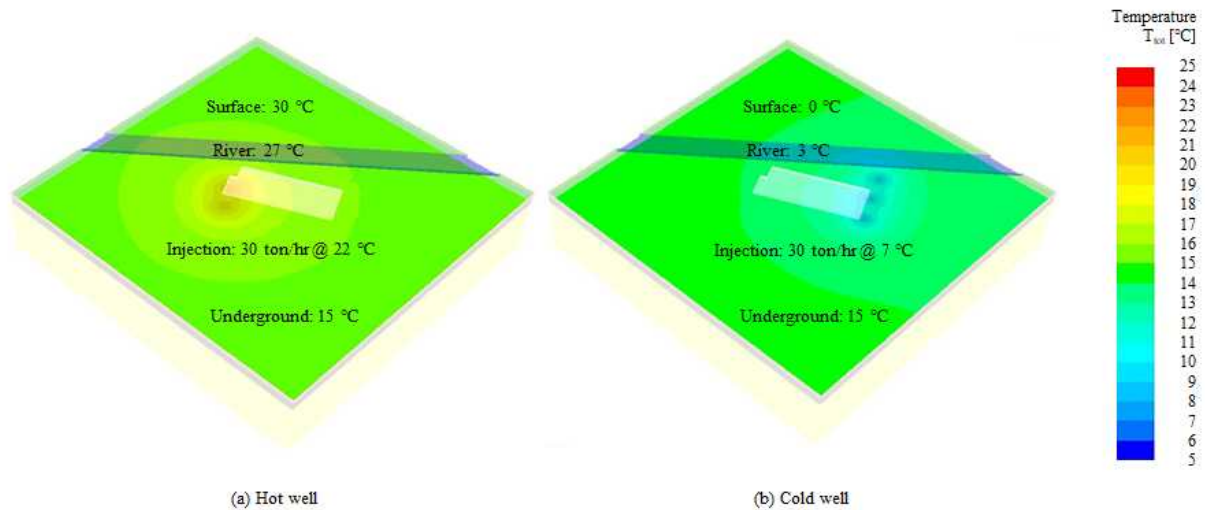


그림 2-5-1-9. 용복합 에너지팜 지중 7m에서의 3차원(3D) 축열 온도분포 수치해석 결과:  
(좌측) 하절기 온열 및 (우측) 동절기 냉열 주입 예측 결과

#### (4) 용복합 에너지팜 장기 운전 성능 예측

##### ① 실증온실 계간축열 열분포 3D 해석

- **(실증온실 지중축열 수치해석결과)** ATES를 이용한 계간축열시 장기 운전에 따른 지하 7m에서의 열환경을 예측하고자 전산유체해석(CFD)을 수행함
- 아래 그림 2-5-1-9. 좌측은 하절기 온열 주입 예측 결과이고 우측은 동절기 냉열 주입 예측 결과임 (위 그림 2-5-1-9. 참고)

##### ② 실증온실 계간축열 운전성능 1D 예측

- **(실증온실 축열운전 수치해석결과)** 용복합 에너지팜을 10년간 운전할 경우 계간축열 성능을 (1차원 해석 기법을 활용하여) ATES 공에서의 지하수 온도 및 최대 양수열량을 예측하였음 (아래 그림 2-5-1-10. 참고)

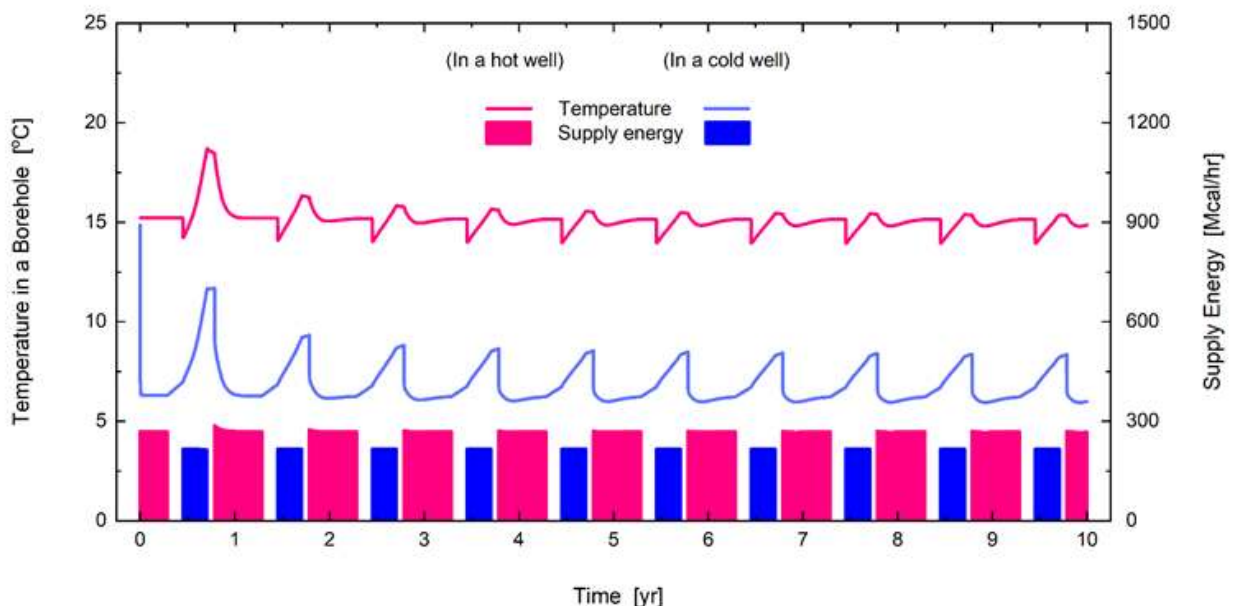


그림 2-5-1-10. 용복합 에너지팜 운전 1차원(1D) 시뮬레이션을 통한 향후 10년간 계간축열 성능 예측 결과



**(5) 융복합 에너지팜 설비 비용 분석**

① 에너지 생산 부문 설비구축 비용

- 본 과제를 통해 구축한 융복합 에너지팜의 에너지 생산 부문 초기 설비투자 비용은 ATES 설비 약 3.3억 원, 수열 설비 약 0.6억 원, 바이오 설비 약 0.1억 원으로 총 4억 원가량 소요되었음

표 2-5-1-1. 융복합 에너지팜 에너지 생산 부문 설비투자 비용 분석

내역 (단위: 억 원)	ATES 설비					수열 설비			바이오 설비		합계
	본공	보조공	지중배관	여과기	인버터	집수정	배관	여과세정	보일러	축열조	
	2.23	0.56	0.23	0.15	0.12	0.19	0.20	0.20	0.10		
합계	3.29					0.59			0.10		3.98

② 에너지 변환 및 공급 부문 설비구축 비용

- 본 과제를 통해 구축한 융복합 에너지팜의 에너지 변환 및 공급 부문 초기 설비투자 비용은 기계실 구축 약 2.7억 원, 전기설비 구축 약 0.8억 원, 온실 공조설비 구축 약 1.2억 원으로 총 4.7억 원가량 소요되었음

표 2-5-1-2. 융복합 에너지팜 에너지 변환 및 공급 부문 설비투자 비용 분석

내역 (단위: 억 원)	기계실						전기설비			온실 공조		합계
	구축	열교환기	밸브류	배관	히트펌프	제어반	분전함	배선	변압기	공조기	복사관	
	0.49	0.40	0.30	0.29	0.80	0.39	0.80			0.90	0.30	
합계	2.67						0.80			1.20		4.67

③ 경제성 평가 (향후 10년 운전 기준)

- (난방일) 3월1일~4월15일 및 10월15일~11월30일 기간에는 300 Mcal/hr 씩 하루 8시간 공급하고 12월01일~02월28일 기간에는 300 Mcal/hr 씩 하루 13시간 공급하여 히트펌프와 보일러를 10년 동안 운전하는 것으로 가정
- (설비 운전) 그림 2-5-1-7.에서의 실증결과로부터 히트펌프 난방 성능계수(COP<sub>H</sub>) 4로 가정, 농사용(을) 전력 요금(기본: 1,210원/kW, 사용: 53원/kWh) 기준, kW=0.86 Mcal/hr, 면세 등유 보일러(효율=89%, 가격=1187 원/L, 발열량=8700 kcal/L, 2023년 04월05일) 사용 기준, 부대설비(수중펌프, 공조기, 인버터, 밸브, 센서 등) 전력사용량 히트펌프 사용량의 20%로 가정
- (경제성 분석) 위의 난방일 및 설비 운전 조건으로 운영 비용을 산정하면 융복합 에너지팜의 경우 약 0.3억 원, 면세 등유 보일러의 경우 약 7.7억 원으로 최대 약 90% 이상 절감할 수 있을 것으로 추정됨

[협동기관] 한국지질자원연구원 (기관별 핵심성과 위주 10쪽 이내 작성)

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용	연구결과
2단계 1차 년도 (2022)	대수층 계간축열을 위한 최적지 지질조사 및 대수층 평가	대수층 수리지질 특성 모니터링	○ATES 운영에 따른 대수층 모니터링 자 료 평가	○주입정, 양수정, 관측정 별 수위 증가 및 감소폭 모니터링
			○지중축열에 따른 대 수층 내 수질 측정 모니터링	○주기적인 수질 샘플링 및 분석을 통하 여 대수층 온도 변화에 따른 지하수- 지표수 혼합과 산화염기 환경의 변화 추정
			○취수-주입정 운영에 따른 지하수 유동성 평가	○충적층 두께 변화에 따른 ATES 성능 민감도 분석
			○드론을 이용한 지표 안정성 모니터링	○드론으로 측정된 연구지역 주변의 지 표면 침하 계산

(1) ATES 시스템 운영에 따른 대수층 모니터링 평가

① ATES 지열정 시스템 지하수 관정 현황 (아래 그림 2-5-2-1. 참고)

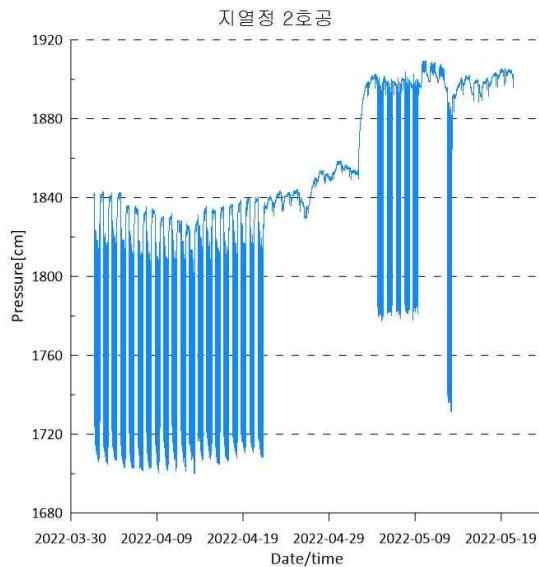
- ATES 운영을 위한 지중 열교환기 관정은 완주군 연구지역의 실증부지에 위치하며 시험 관정은 총 6개 공으로 굴착깊이는 100 m 이며, 충적층의 관정 직경은 450 mm, 암반층의 관정 직경은 200 m 임

② ATES 지열정 시스템 운영에 따른 지하수위 변동(아래 그림 2-5-2-2. 참고)

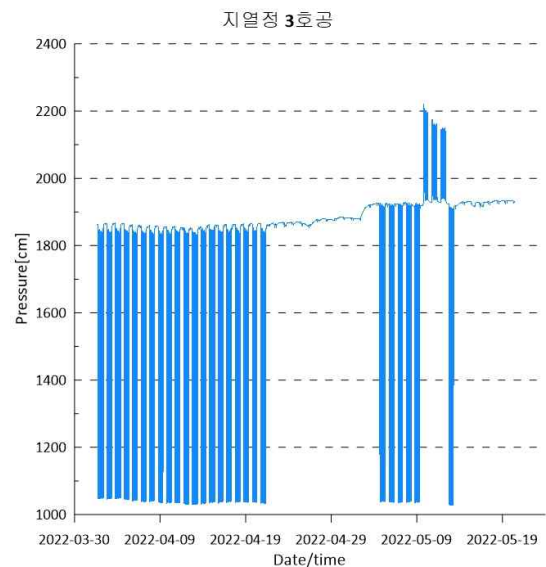
- 연구지역 실증부지에는 6개 공의 지열정 관정이 실증부지 주변으로 분포하고 있음. 이 중 자동계측기의 설치가 용이하지 않은 1번 공을 제외하고 2~6번 공에서 2022년 4월 1일부터 5월 20일까지 측정된 자료를 바탕으로 ATES 시스템에 의한 지하수위 변동을 파악하고자 함
- 지열공 2번과 3번공에서는 2022년 4월 1일부터 20일까지 양수를 진행하였으며 지열공 2번에서의 양수에 의한 수위강하는 약 2.40 m로 관측되었음



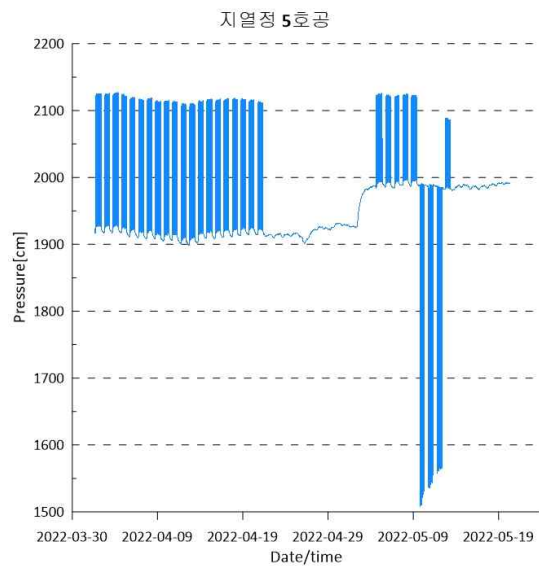
그림 2-5-2-1. 연구지역 실증부지의 ATES 운영 시험관정



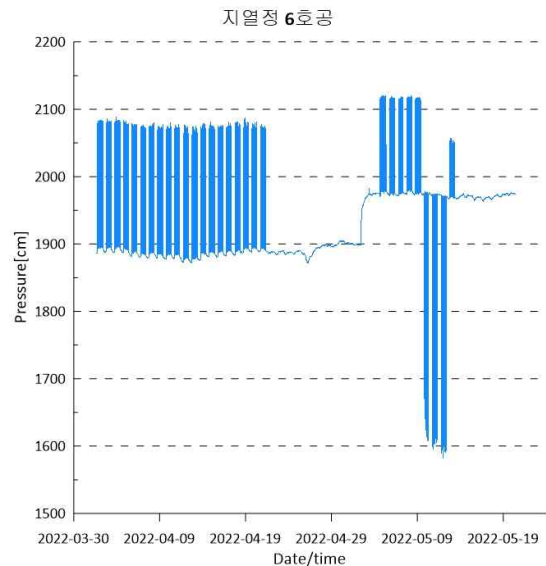
(지열정 2호공)



(지열정 3호공)



(지열정 5호공)



(지열정 6호공)

그림 2-5-2-2. 연구지역 실증부지 ATEs 시스템 운영에 따른 지하수위 변동 양상

- 지열공 4, 5, 6번공에서는 이 기간 동안 주입을 실시함. 지열공 4번 관정에서는 주입에 의해서 지하수위가 약 1.90 m 정도의 상승하였고, 5번 관정에서는 약 2.00 m 정도 지하수위 상승, 그리고 지열공 6번 관정에서는 2.50 m의 수위가 상승함
- 이러한 수위 상승 및 하강은 관정의 대수층의 투수성 및 저류성과 연관이 있으며 같은 실증부지라도 총적층의 지하지질 특성(자갈모래층의 두께)과 분포 등에 따라서 투수성과 저류성에서 차이가 발생함

③ ATEs 지열정 시스템 운영에 따른 보조 관측정 지하수위 변동 (아래 그림 2-5-2-3~5. 참고)

- 연구지역 실증부지 6개 공의 지열정 관정 주변으로 8개의 보조 관측정이 분포하고 있음. 각각의 보조 관측정의 주입보조정의 역할을 하며 지열공 2번 관정은 단일정으로도 양수와 주입이 가능하여 주입보조정이 없으며 지열공 3, 4, 5, 6번 관정은 각각 2개의 주입보조정이 설치되어 주입 용량을 보충할 수 있음
- 그림 2-5-2-3은 지열공 2, 3번 관정의 ATEs 시스템의 양수에 의한 지하수위 변동을 도시한 것으로 양수와 주입에 의한 영향이 확연히 나타나는 것으로 판단됨
- 양수에 의한 영향으로 OBS-1번의 경우 지하수위는 약 30 cm 정도의 수위하강이 관측되었으며 OBS-2번의 경우 수위 변화는 약 20 cm 정도의 수위하강이 기록됨

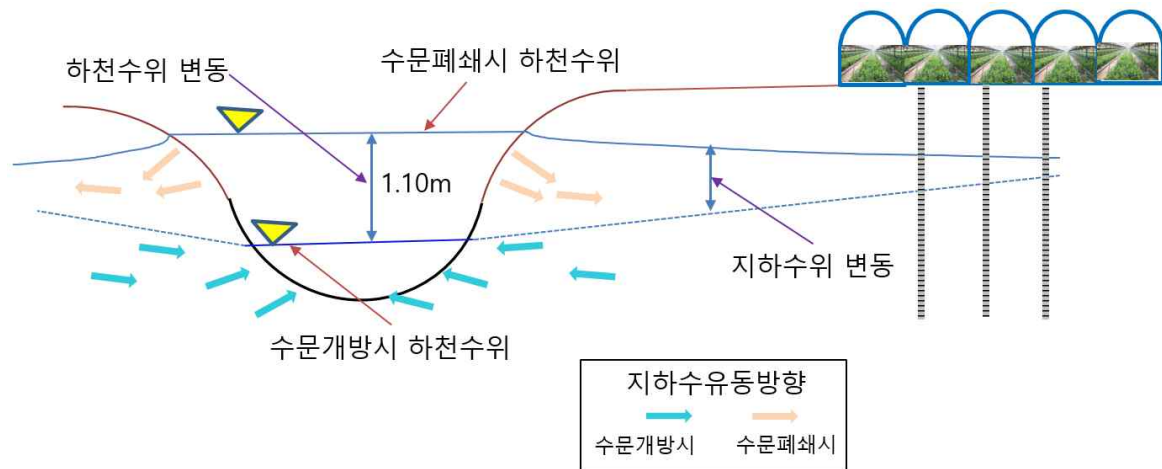


그림 2-5-2-3. ATEs 시스템 운영에 따른 하천수 및 지하수위 변동 양상 모식도

- 그림 2-5-2-4.는 지열공 4, 5, 6번 관정의 ATEs 시스템의 양수에 의한 주입보조정의 지하수위 변동을 도시한 것으로 각 관측점에서 주입에 의한 영향이 나타나며 각 관측점마다 차이가 발생하는 것으로 판단됨
- 지열공 4번은 주변 하천과 가장 가까우며 관측정은 OBS-7, 8번이며 지열공 5번의 관측정은 OBS-5, 6번이며 지열공 6번(하천과 가장 먼 거리)의 관측정은 OBS-3, 4번임
- 그림 2-5-2-4.에서와 같이 OBS-3, 4는 지열공 6번의 영향으로 지하수위가 주입에 의해서 상승한 것으로 보이며 OBS-3번의 경우 약 160 cm의 수위상승이 관측되었고 OBS-4번의 경우 약 30 cm의 수위상승을 보임. 이것은 지하수 관정에 주입을 했을 경우, 대수층의 투수성과 저류성이 좋을수록 주입을 하여도 수위상승의 변화가 크게 발생하지 않기 때문에 OBS-3번이 4번보다 투수성이 좋지 않을 것으로 판단됨
- OBS-5, 6번은 지열공 5번 관정의 주입영향으로 수위가 상승함. 각각의 수위 상승 폭은 OBS-5번은 약 30 cm, OBS-6번은 약 20 cm의 주입에 의한 수위 상승이 발생함. OBS-7, 8번은 지열공 4번 관정의 주입에 의해서 지하수위가 상승한 것으로 판단됨. OBS-7번의 수위상승은 약 50 cm로 관측되었고 OBS-8에서는 약 30 cm의 주입에 의한 수위상승이 관측됨

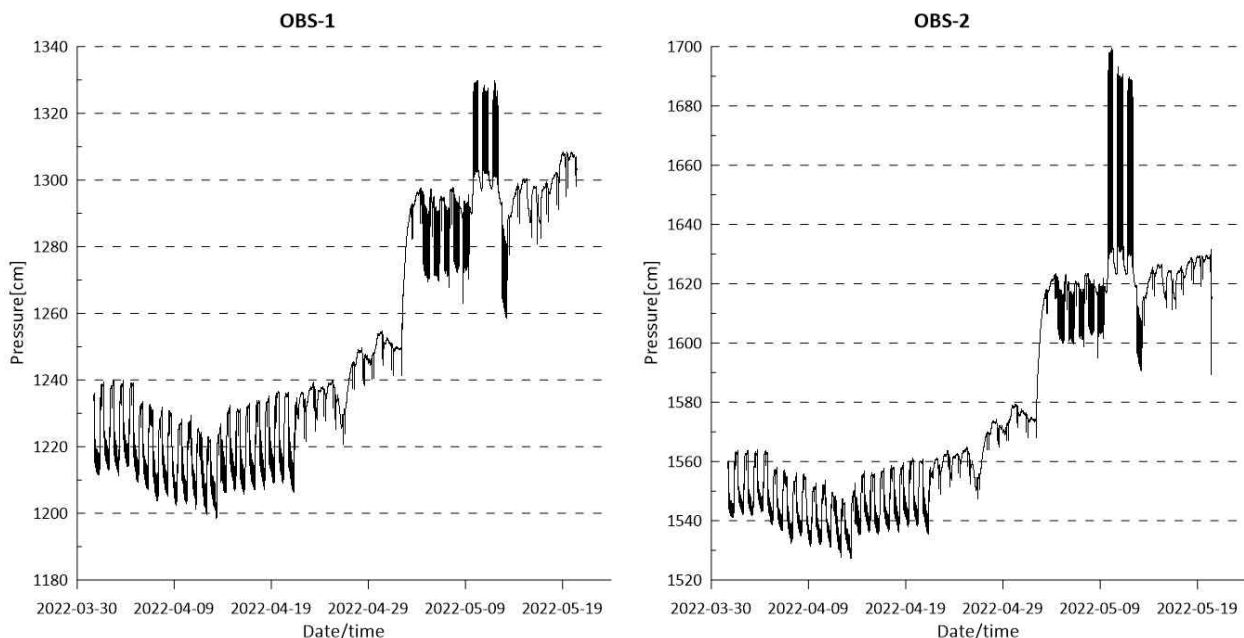


그림 2-5-2-4. 실증부지 ATEs 시스템의 지열공 2,3 양수에 의한 주변 관측점 지하수위 변동 양상



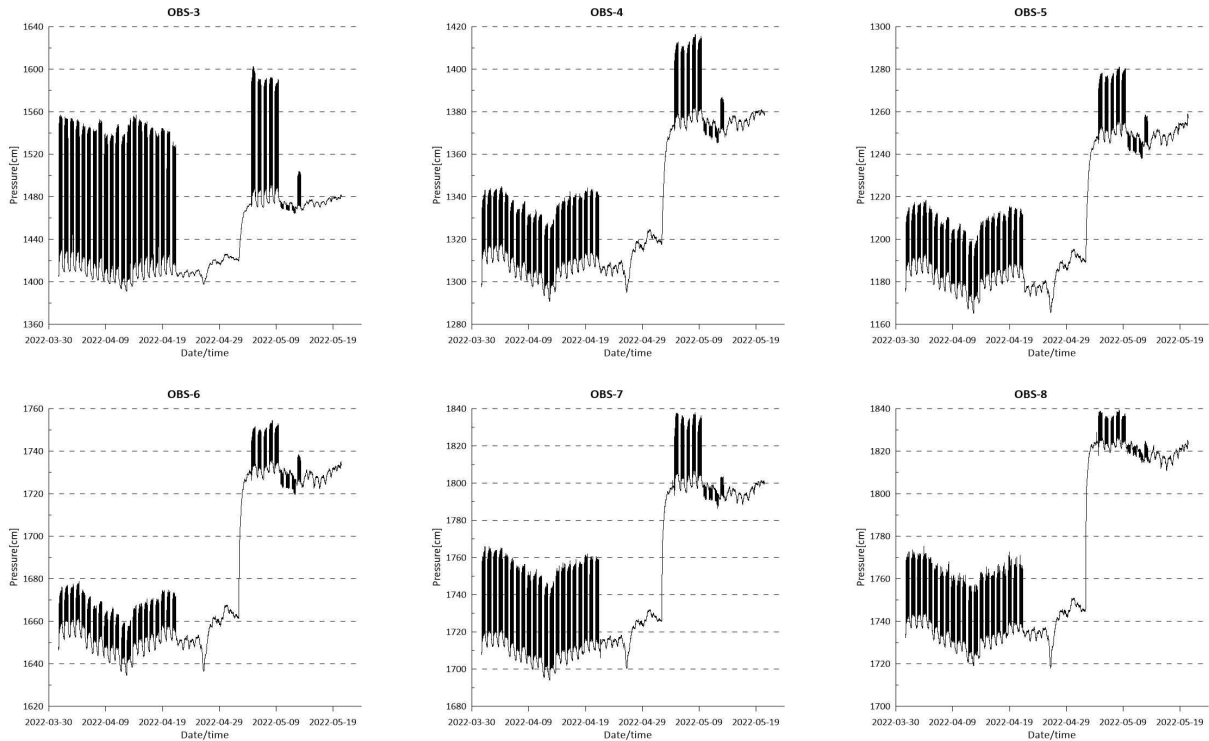


그림 2-5-2-5. 실증부지 ATES 시스템의 지열공 4, 5, 6번 주입에 의한 주변 관측정 지하수위 변동 양상

- 그림 2-5-2-3.에서와 같이 실증부지는 주변 하천과 상호작용을 이루고 있는 것으로 판단되며 하천 농수로에 설치된 수문의 개폐에 따라 지하수위가 변함에 따라 ATES 운영시 고려되어야 할 것으로 판단됨
- 서쪽에 위치한 두 지열공 2, 3은 수문개방 전후 약 50 cm의 지하수위 변동을 나타내며, 지열공 4, 5, 6은 약 70~75 cm의 지하수위 변동폭을 나타냄

④ ATES 지열정 시스템 운영에 따른 보조 관측정 지하수 온도 변화

- ATES 시스템 가동에 의한 양수와 주입으로 인한 8개의 보조 관측정에서 온도 변화가 관측됨 (아래 그림 2-5-2-6. 참고)
- 그림 2-5-2-6.은 지열공 2, 3번 관정의 양수와 주입에 의한 영향으로 온도 변화가 발생한 것으로 OBS-1 의 경우 4월 양수에 의한 온도는 큰 변화가 관측되지 않았지만, 5월 초 양수에 의한 영향은 약 7~15° 정도의 변화 폭을 보이며 OBS-2는 4월 양수에 의한 영향은 약 1° 정도이며 5월 양수 및 주입에 의한 온도 변화는 약 8~13°의 변화 폭이 관측됨
- 지열공 4, 5, 6의 주입에 의한 지하수 온도 변화는 관측정(OBS-3, 4, 5, 7, 8)에서의 지하수 온도는 점차 상승하는 추세를 보이고 있음
- OBS-3, 4은 지열공 6의 영향으로 두 관정모두 추세는 비슷한 것으로 파악되며 주입했을 때의 온도 변화는 전반적으로 비슷한 양상으로 보이며 값의 차이가 조금 발생하는 것으로 파악됨
- OBS-7, 8은 지열공 4의 영향으로 온도 변화가 관측되었으며 전반적인 변화 양상은 비슷하게 보이며 관측정에 따라 온도 변화의 폭이 다른 것으로 판단됨
- 관측정에서의 온도 변화는 주입수의 온도에 가장 민감하게 반응하며 관정의 대수층의 기본적인 온도와 하천의 온도에 의해서도 각 공에서 서로 다른 영향을 보임

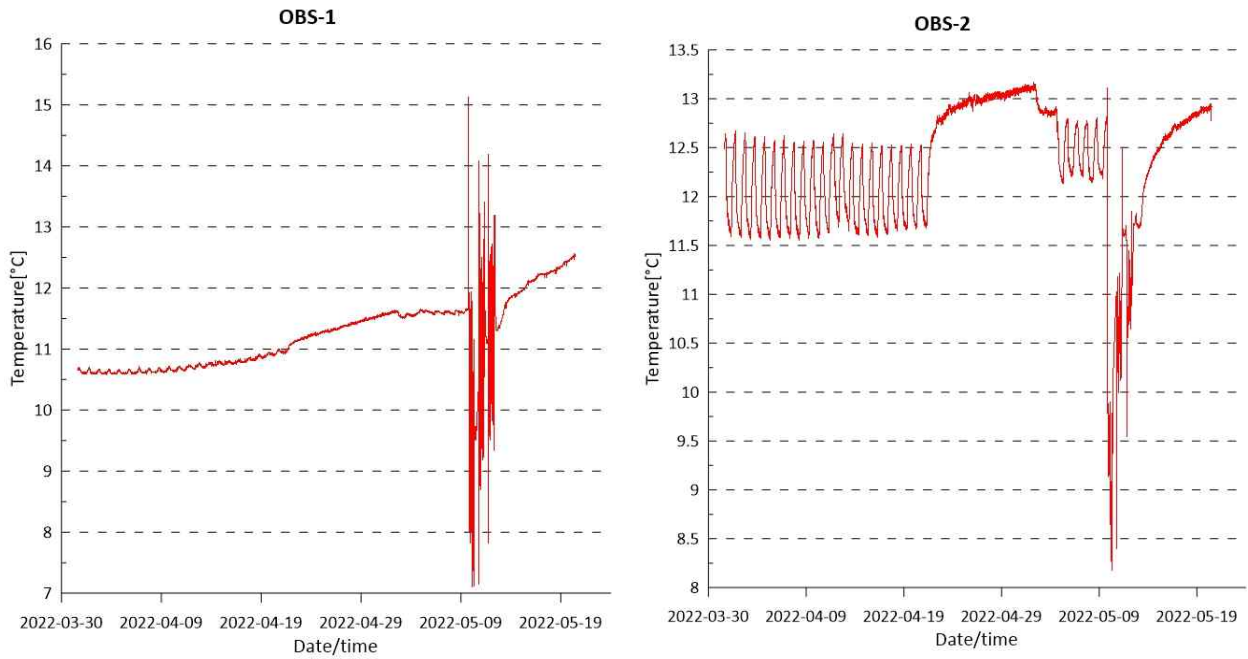


그림 2-5-2-6. 실증부지 ATES 시스템의 지열공 2,3 양수에 의한 주변 관측정 지하수위 변동 양상

## (2) 지중축열에 따른 대수층 내 수질 측정 모니터링

### ① 현장 수질특성 변화

- 2022년 4월부터 9월 사이의 ATES 시스템 설치부지 및 주변지역 지하수 및 지표수 특성 모니터링 (아래 그림 2-5-2-7. 참고)
- 천부 지하수공에 비해 심부 지하수공의 수온이 비교적 더 높은 편이며, 기온상승에 따라 모든 지하수공의 수온이 상승하고 용존산소(DO)는 감소하는 특성을 보임. 수온 상승으로 인해 토양 미생물의 대사활동이 활발한 것으로 판단됨
- pH는 조사기간 동안 5.5~7.8의 범위를 보였고, ATES 연구부지 내 지하수공은 pH 7 미만의 값을 유지. 전기전도도는 조사기간 동안 102.7~279.4  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 의 범위를 보였으며, 모든 지하수공에서 전기전도도가 증가하는 추세를 보임

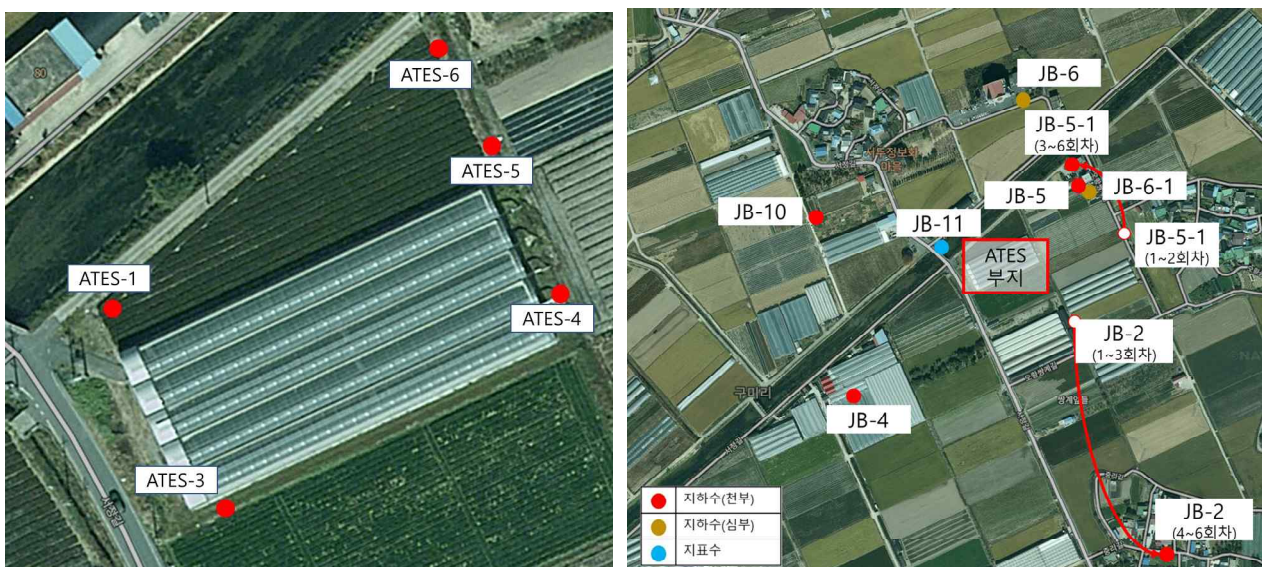


그림 2-5-2-7. ATES 연구부지(왼쪽) 및 주변 마을 지하수공 샘플 채취 위치(오른쪽)

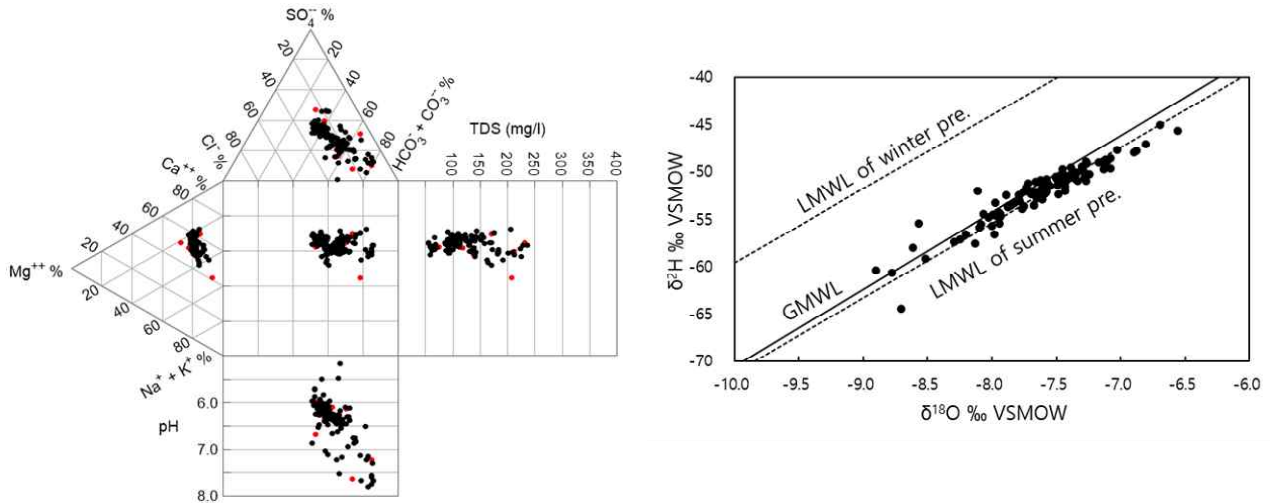


그림 2-5-2-8. 완주군 대상부지 내 지표수-지하수의 수질 분포(빨간점은 ATES 가동 전, 검은 점은 가동 후)

- ATES 연구부지 및 주변 마을 지하수공에 대한 현장 지하수질 측정 결과, 지하수 및 지표수질의 계절적인 변동이 일부 보였으나, ATES 연구부지 시스템의 가동이 주변의 지하수 수질에 미치는 영향은 발견되지 않음

② 양음이온 분포 특성

- Ca-HCO<sub>3</sub>(-Cl)의 천부지하수 유형을 보임. 그림 2-5-2-8의 빨간점은 2021년 3월 ATES시스템 가동 전의 배경수질, 검은점은 ATES설치 및 가동시기를 나타냄. 온실안에 설치되어 사용량이 많은 관정과 심부지하수(100 m)의 중탄산이온 비율이 특히 높게 나타남.
- 그러나 계절의 변동과, ATES의 가동여부는 이온조성 차이를 나타내지는 않으며, 천부지하수가 주변 지표수와 상당히 연결성이 높아 혼합에 의한 차이가 크게 나타나지 않기 때문으로 판단됨.
- 샘플링 시기 지하수와 지표수(지하수 유출수 기여)는 여름에 함양된 강우의 영향이 보임. 농업집약적인 농지특성에 비해 농업활동에 의한 증발산 영향은 크게 나타나지 않음.
- 앞의 Cl이온 성분과 비교하였을 때, 연구지역의 지하수는 2 point endmember mixing이 일어나는 것으로 판단되며, 온실 뒤쪽의 일부 지하수는 분변성 질산성질소 유입으로 먹는물수질기준을 초과하는 질산성질소 농도를 보임

(3) 취수-주입정 운영에 따른 지하수 유동성 평가

① 총적층 두께 변화에 따른 ATES 성능 민감도 분석

- 일반적으로 암반 대비 수리전도도가 높고 공극률이 큰 총적층의 두께가 두꺼울수록 ATES에 유리하다고 알려짐
- 총적층 두께를 일반적인 조건인 10 m, 양호한 조건인 30 m, 극히 양호한 조건인 50 m로 변화시키며 ATES 성능 민감도 분석 (아래 그림 2-5-2-9. 참고)
- 연구지역과 유사한 6개(3+3) 관정을 이용하여 냉난방하는 조건

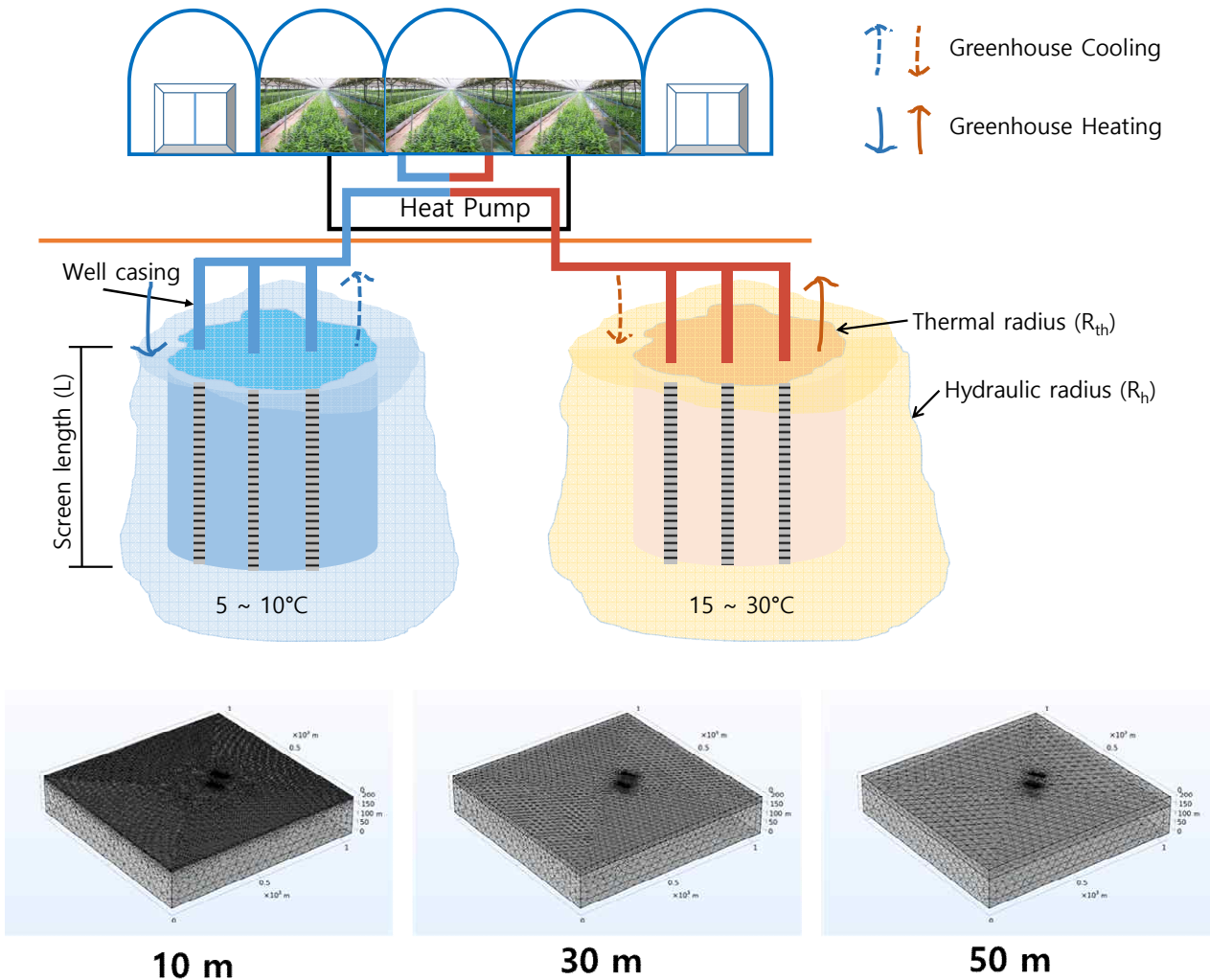


그림 2-5-2-9. 민감도 분석에 사용된 대수층 모델 모식도(상) 및 수치모델 도메인(하)

② Model setup

- 도메인: 1 km x 1 km x 200 m로 설정
- 가동 시나리오(5년 가동):
  - i) 여름(91일): 우측 3개 관정에서 각각 300 m<sup>3</sup>/day 양수, 좌측 3개 관정에서 동일량 주입,  $\Delta T = +10^{\circ}\text{C}$
  - ii) 봄(91일), 가을(91일): 가동 중지
  - iii) 겨울(91일): 좌측 3개 관정에서 각각 300 m<sup>3</sup>/day 양수, 우측 3개 관정에서 동일량 주입,  $\Delta T = -10^{\circ}\text{C}$

③ 민감도 분석 결과 (아래 그림 2-5-2-10~11. 참고)

- 총적층 두께가 얇을수록 재주입된 따뜻한 지하수가 넓게 퍼짐
- 총적층 두께가 얇을수록 재주입된 차가운 지하수가 넓게 퍼지고 두꺼울수록 아직 남아있는 따뜻한 지하수가 더 많이 존재함 (아래 그림 2-5-2-10. 참고)
- 냉방 성능은 총적층의 두께가 30 m, 10 m, 50 m인 순서로 좋음: 50 m의 경우 지온구배에 의해 상대적으로 온도가 높은 심부의 지하수를 양수하기 때문에 총적층의 두께가 10 m인 경우보다도 약간 냉방 시 불리함 (아래 그림 2-5-2-11. 참고)
- 난방 성능은 총적층의 두께가 50 m, 30 m, 10 m인 순서로 좋음: 10 m의 경우 축열 성능도 떨어지고 상대적으로 온도가 낮은 천부의 지하수를 양수하기 때문에 난방 성능이 가장 떨어짐 (아래 그림 2-5-2-11. 참고)



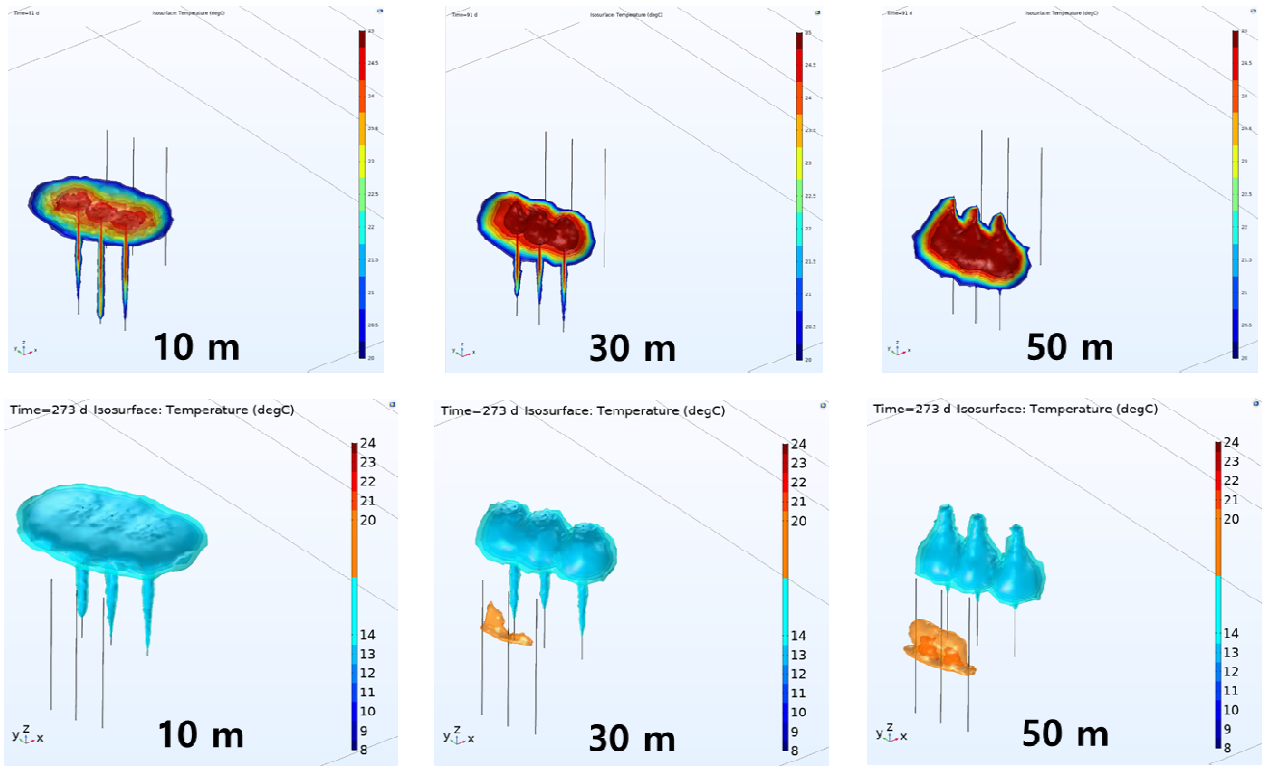


그림 2-5-2-10. ATEs 가동에 따른 지하수 온도 분포 변화: (상) 가동 91일 후(첫 여름 냉방 가동 종료일), (하) 가동 273일 후(첫 겨울 난방 가동 종료일)

- 종합적으로 볼 때 총적층의 두께가 30 m인 경우가 냉난방 성능이 가장 우수하고 10 m인 경우 성능이 가장 나쁨
- 그러나 총적층의 두께가 10 m인 경우에도 축열에 의한 성능 향상을 확인할 수 있었고 냉방에서는 오히려 50 m인 경우보다 뛰어난 성능을 보임
- 그러므로 본 실증시설과 같이 총적층의 두께가 두껍지 않은 경우에도 양수량과 주입량만 잘 확보된다면 ATEs 시스템은 충분히 효율적인 성능을 낼 수 있음
- 다만 이 민감도 분석은 총적층의 수리전도도, 수두구배, 지하수의 온도, 가동 방식의 변화(양수량, 주입량, 부하량, 가동시간 및 패턴 등)에 따라 달라질 수 있음

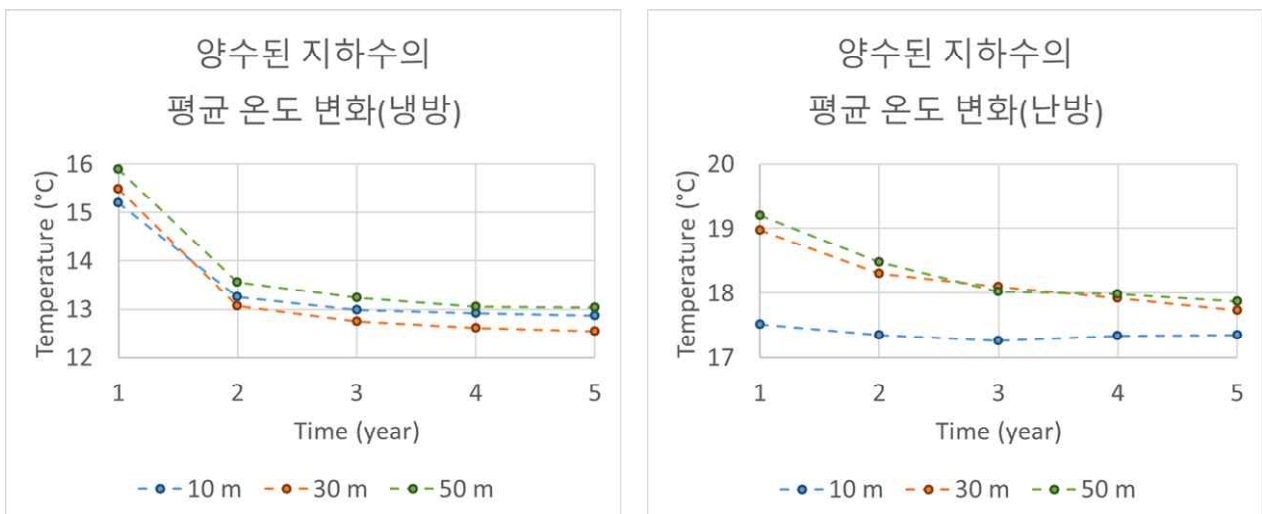


그림 2-5-2-11. 시간에 따른 양수된 지하수의 평균 온도 변화: (좌) 냉방, (우) 난방



그림 2-5-2-12. 연구부지의 지형변화 탐지를 위한 드론 촬영영상

#### (4) 연구부지 지형변화 모니터링

##### ① 드론영상 촬영

- 연구부지의 지형변화(침하)를 모니터링 하기 위해서 2021년 03월부터 2022년 11월까지 총 6회에 걸쳐 RTK GPS(Real Time Kinematic GPS)를 탑재한 DJI 팬텀4 RTK 드론으로 촬영함 (아래 그림 2-5-2-12. 참고)

##### ② 관정의 고도변화

- 연구부지의 관정은 총 7개소로 2022년 6월 20일에 촬영한 드론영상에 표기된 지점에 위치하고 있으며, 관정의 위치는 드론영상에서 직접 추출함 (아래 그림 2-5-2-13. 참고)

표 2-5-2-1. 연구부지 관정의 고도 변화 (2021.12~2022.06, 단위: m)

관정	WJ_BH_01	WJ_BH_02	WJ_BH_03	WJ_BH_04	WJ_BH_05	WJ_06	WH_07
고도차	-0.091	-0.066	-0.206	-0.074	-0.086	-0.046	-0.054

- 두 시기에 촬영된 영상을 보정 한 결과를 보면 z(고도) 값의 오차가 약 1.7~3 cm 내외로 대부분의 시추공 고도는 대략 4 cm 정도 낮아진 것으로 나타남
- 이는 시추공의 지반이 실제로 하락한 것이 아니라 시추공을 덮고 있는 덮개의 변위와 주변 토양의 다짐 현상 등으로 인한 인위적인 환경 요인으로 볼 수 있는 낮은 변화에 해당함

##### ③ 연구부지 주변의 침하 모니터링 (아래 그림 2-5-2-14. 참고)

- 연구부지 주변의 침하를 모니터링 하기 위해서 2021년 6월 29일에 취득한 DEM (Digital Elevation Model: 수치 표고 모델)과 2022년 6월 20일에 취득한 DEM을 이용하여 1년간 발생한 절대고도 차이를 계산





•WJ\_BH\_01 : 127° 08' 58.50" E / 35° 56' 27.05" N  
 •WJ\_BH\_02 : 127° 08' 58.85" E / 35° 56' 26.50" N  
 •WJ\_BH\_03 : 127° 08' 59.10" E / 35° 56' 25.54" N  
 •WJ\_BH\_04 : 127° 09' 02.67" E / 35° 56' 26.77" N  
 •WJ\_BH\_05 : 127° 09' 02.07" E / 35° 56' 27.82" N  
 •WJ\_06 : 127° 09' 02.52" E / 35° 56' 27.03" N  
 •WJ\_07 : 127° 09' 01.96" E / 35° 56' 28.04" N

그림 2-5-2-13. 연구부지 내 관정 현황(드론영상: 2022.06.20. 촬영)

- 연구부지 주변의 변위는 약 1.5 cm~ 3 m 사이로 나타났으나 대부분은 1.5 cm 이내의 변위를 보임. 3 m 이하의 변위를 보이는 이유는 서쪽 도로 하단에 주차되어있는 차량과 북쪽 도로에 인접한 나무의 영향을 받은 것으로, 해당 지역을 제외하고는 거의 변위가 없는 것으로 확인됨
- 1년간 연구부지 주변의 고도 차이를 계산한 결과, 지표 변위는 발생하지 않은 것으로 확인됨. 이는 상대적으로 짧은 기간 동안 변위를 관측한 결과이므로 지하수 활용에 따른 지표 변위를 확인하기 위해서는 장기적인 모니터링이 필요함



그림 2-5-2-14. 연구부지 주변의 침하 모니터링 결과

[협동기관] ㈜지엔에스엔지니어링 (기관별 핵심성과 위주 10쪽 이내 작성)

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용	연구결과
2단계 1차 년도 (2022)	대수층 계간축열 에너지 생산 및 저장 실증모델 개발	최적 운전조건 개발 및 유지보수기술 현장적용	○안전적인 냉온열 생산 및 공급 최적화	○안전적 냉온열 생산 및 저장방법 검토 ○냉온열 공급 최적화를 위한 지열정 보강 ○계간축열(ATES) 시스템 최적운전을 위한 모니터링 장치 설치
			○모래여과기를 이용한 이물질 제거기술 개발	○모래여과기를 이용한 이물질 제거 장치 현장적용
			○지하부 시설에 대한 설계 매뉴얼 작성	○설계를 위한 기초조사 검토 ○지열정의 설계 및 구축방법 제시
			○ATES최적화 운전 매뉴얼 작성	○계간축열(ATES) 시스템의 지열공 유량조절 방법 검토
			○ATES시스템 유지관리 매뉴얼 작성	○계간축열(ATES) 시스템의 지열정 세정 방법 제시

(1) 안정적인 냉온열 생산 및 공급 최적화

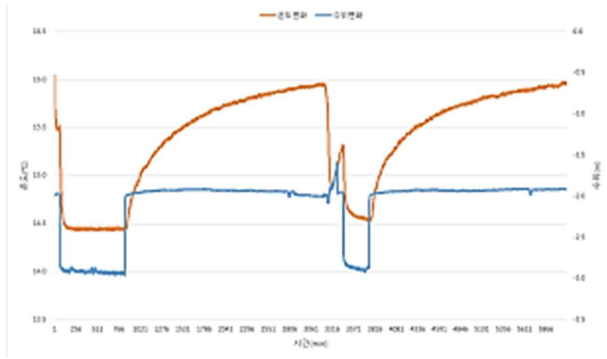
① 안정적인 냉온열 생산 및 저장

- 대수층 계간축열(이하 ATES; aquifer thermal energy storage) 시스템의 안정적인 냉온열 생산 및 공급을 위해서는 시스템 설계사양에 적합한 양수량 확보가 선결되어야 함
- 효율적인 축열성능을 확보하기 위해서는 일정한 열교환온도와 환수량을 유지하는 것이 중요한 요소임
- 지열냉난방시스템의 열순환은 지열공에서 공급되는 지열원수를 2차 열교환기에서 열교환하고 축열 및 축냉정으로 환수하는 지열원수 열순환, 2차 열교환기에서 히트펌프로 공급하는 1차 열교환기 열순환, 히트펌프에서 실내 열공급(온실)하는 실내 열순환 등으로 구분할 수 있음
- 안정적인 지열원수 공급의 최적화를 위해서는 다음의 고려사항을 검토하여야 함
- 충분한 지열원수 확보가 가능여부 및 열교환온도의 결정에 있어 난방 시 동파위험
- 대수층 계간축열 시스템의 특징인 축열 및 축냉 효과를 최대화하기 위해서는 열교환 온도차가 클수록 효율적임
- 안정적인 지열원수 공급에 있어 가장 우선 고려사항은 충분한 지열원수량의 확보에 있으며 양수된 지열원수를 최대한 환수하여 축열 및 축냉하여 시스템 열효율 향상임
- 지열 원수량은 양수시험과 주입시험을 진행하고, 그 데이터를 분석하여 구축된 시설에 필요한 최적의 원수량을 선정하였음
- 양수 및 주입 대수성 시험 결과는 아래 표 2-5-3-1.과 같음

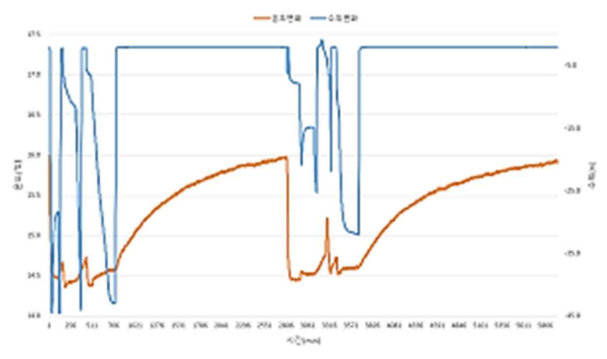
표 2-5-3-1. 대수성 시험결과

공번	적정양수량 (ton/day)	적정주입량 (ton/day)	펌프용량	비고
DW-1	76	-	1HP	폐공 또는 농업용수사용
DW-2	600(이상 )	400(이상 )	양정 60m : 7.5HP	단일관정으로 양수 및 주입
DW-3				
DW-4	240	130	양정 60m : 3HP	보조주입정 2공
DW-5	240	100	양정 60m : 3HP	보조주입정 2공
DW-6	300	110	양정 60m : 5HP	보조주입정 2공

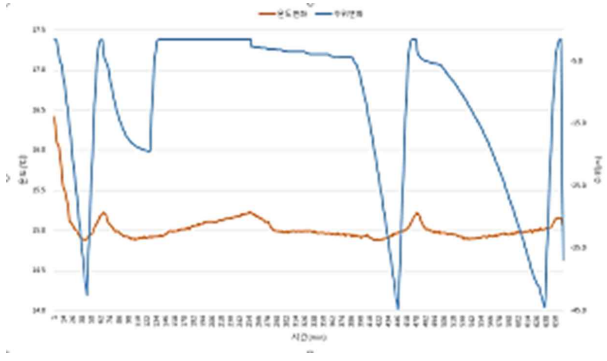




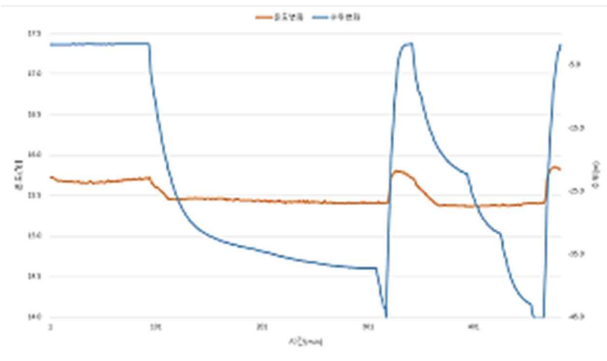
(가)



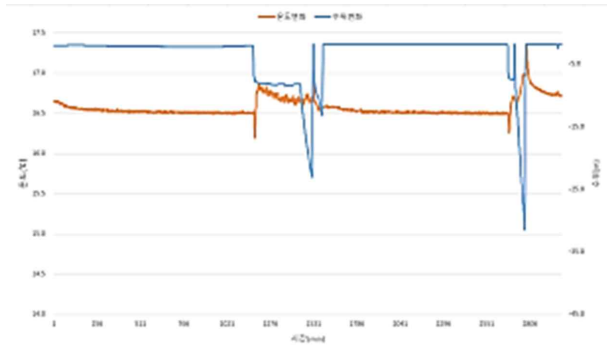
(나)



(다)



(라)



(마)

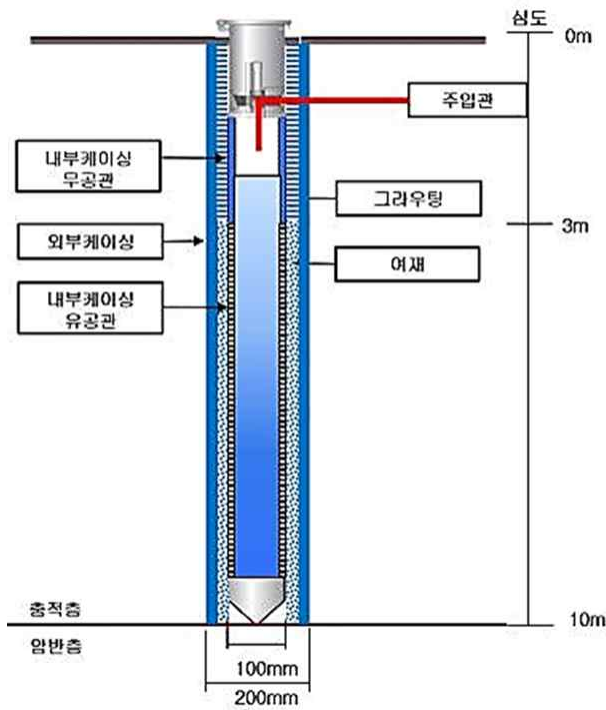
그림 2-5-3-1. 지열정 수위에 따른 온도변화: (가) DW-2, (나) DW-3, (다) DW-4, (라) DW-5, (마) DW-6

- 지열시스템 설계상 냉방의 경우 계간축열 히트펌프(80 RT)와 하천수열 히트펌프(20 RT), 난방의 경우 계간축열 히트펌프(80 RT)와 목재펠릿보일러(53 kW<sub>th</sub>; 약 20 RT 대응)를 기준으로 100 RT급 융복합 지열냉난방시스템 구축을 목표로 함
- 위 설계기준을 기본으로 계간축열 냉난방 시스템 지열 원수량은 100 RT급 지열시스템에 안정적으로 지열원수를 공급하는 것을 목표로 함
- 100 RT급에 공급되어야하는 지열원수량은 열교환온도차  $\Delta t=8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 의 경우 최소 900 ton/day 이상,  $\Delta t=9\text{ }^{\circ}\text{C}$ 의 경우 최소 800 ton/day 이상,  $\Delta t=10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 의 경우 최소 730 ton/day 이상의 지하수량을 확보하여야 함
- 온실 남서쪽에 위치한 DW-1번~DW-3번 관정의 총 양수량은 1,041 ton/day로 히트펌프 시스템에서 필요한 지열 원수량을 충족하였음
- 그러나 환수 관정인 DW-4번~DW-6번 관정의 경우 총 주입량은 340 ton/day로 양수량 대비 700 ton/day이 부족한 것으로 검토되어 보조 주입정을 각 관정별 2공씩 추가 설치하였음
- 온실 북동쪽에 위치한 DW-4번~DW-6번 관정 총 양수량은 780 ton/day로 열교환온도  $\Delta t=9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\Delta t=10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서 적용할 수 있을 것으로 판단됨



그림 2-5-3-2. 지열정(BH 또는 DW)과 보조 주입정(SH) 위치 및 트렌치 배관 설치 개념도

- 환수 관정인 DW-1번~DW-3번 관정의 총 주입량은 570 ton/day로 예상되며 양수량 대비 210 ton/day 부족한 것으로 검토되어 양수와 주입유량이 높은 2번 관정은 별도의 추가시설을 설치하지 않고 DW-3번 관정을 대상으로 보조주입정을 2공씩 추가 설치하였음
- 난방과 냉방 지열원수 선정은 상대적으로 장기간 운전이 필요한 난방 지열원수 경우 충분한 지열원수량이 확보된 DW-2 및 3번 관정을 사용하는 것이 시스템의 안정적인 운전 에 유리한 것으로 판단됨
- 냉방 지열원수 경우 DW-4번~DW-6번 관정을 지열원수로 사용하고 열교환온도  $\Delta t=10$  °C의 경우 100 RT급 지열원수를 확보할 수 있을 것으로 생각됨
- 냉방의 경우 충분한 100 RT급 지열원수의 확보가 어려울 것으로 예상되나 80 RT급 지 열원수 확보는 충분할 것으로 예상됨
- 냉방시 필요한 추가 부하의 경우 열교환 온도차 10 °C 이상으로 하는 방법과 하천수 열 원을 이용하여 20 RT의 부하를 충족시키는 방법이 타당할 것으로 생각됨
- 지하수 온도는 관정의 굴착 깊이가 장심도 일수록 온도가 높은 것으로 알려져 있으며 일 반적으로 100 m 내외의 암반관정 경우 15 °C~18 °C, 총적층은 12 °C~15 °C를 유지하 는 것으로 알려져 있음
- DW-2번 관정은 수위의 변화에 따라 14.4 °C~16.0 °C 범위에서 온도변화를 가지는 것 으로 측정되었음 (그림 2-5-3-1. 참고)
- 수위가 낮아질수록 지하수 온도가 감소되며 양수를 정지하면 온도가 증가하는 경향을 보 이며 이는 암반지하수(16 °C 예상) 보다 총적지하수(14 °C 예상)의 유입이 높은 것으로 판단됨
- DW-3번 관정은 수위변화에 따라 14.4 °C~16.0 °C 범위에서 온도변화를 가지는 것으로 측정되었고 DW-2번 관정과 비슷한 경향을 보임
- DW-4번 관정은 14.8 °C~16.5 °C 범위에서 온도변화를 가지는 것으로 측정되었고 수위 변동에 따른 지하수 온도변화는 0.5 °C 이하로 총적층 지하수와 암반지하수 공급량이 비 슷한 것으로 판단됨



- 총적층 보조주입정
  - 용도: 지하수 주입을 위한 보조관정
  - 국착 심도: 10 m 내외
  - 굴착 관경: Ø200 mm
  - 케이싱 설치
    - 내부케이싱 Ø100 mm (PVC 재질)
    - 스크린 설치
      - PVC 유공관
      - 관경: Ø100 mm
      - 설치 길이: 3~10 m
      - SLOT: 0.5 mm
  - 여재설치
    - 입도: 2~5 mm
    - 설치 두께: 50 mm
    - 설치 길이: 8 m 내외

그림 2-5-3-3. 총적층대수층 보조 주입정(이하 SH; sub-borehole) 개략도 및 설치사양

- DW-5번 관정은 15.4 °C~16.8 °C 범위에서 온도변화를 가지는 것으로 측정되었고 수위 변동에 따른 지하수 온도변화는 미비한 것으로 판단됨
- DW-6번 관정은 16.6 °C~16.8 °C 범위에서 온도변화를 가지는 것으로 측정되었고 수위 변동에 따른 지하수 온도변화는 미비하며 암반지하수 유입이 우세한 것으로 판단됨
- 온수정 및 냉수정 선정결과를 고려하여 온수정 DW-2번 및 3번 관정의 지하수 온도는 양수 시 온도인 14 °C를 기준으로 최대 열교환온도는 9~10 °C까지 가능한 것으로 판단됨
- 열교환 온도 10 °C를 기준으로 할 경우 최소 환수온도는 4 °C로 동파위험에서 안전한 온도범위로 냉수정에 주입성능 증가 시 시스템의 안전한 지열원수 확보가 가능할 것으로 판단됨
- 냉수정 DW-4번~DW-6번 관정은 냉방시 열교환온도 10 °C로 선정할 경우 안전적이 지열원수공급이 가능할 것으로 판단됨
- 난방시 동파위험을 고려하면 열교환온도를 최대 8 °C~9 °C로 선정하는 것이 안정적인 지열 원수공급에 유리함

② 보조 주입정 및 트렌치배관 설치 (그림 2-5-3-2.~4. 참고)

- 관정 별 양수성능에 비해 주입성능이 부족한 것을 고려하여 온수지역에 보조 주입정 2공을 추가 설치하고 냉수지역에 보조 주입정 6공을 추가 설치함
- 보조 주입정은 총적층대수층 대상으로 주입성능을 증가시키는 목적으로 설치되었으며, 굴착 깊이 선정은 풍화토까지 설치함
- 보조주입정 개발은 온수지역의 DW-3번에 2공, 냉수지역의 DW-4번~DW-6번에 2공씩 6공을 구축하였음
- DW-4번 관정의 보조 주입정인 SH-8번 관정은 2방향의 수평주입관을 설치하여 주입성능 향상을 도모함





그림 2-5-3-4. 보조주입정 개발 공사: (가) SH-1, (나) SH-2, (다) SH-3, (라) SH-4, (마) SH-5, (바) SH-6, (사) SH-6, (아) SH-6

- 보조 주입정(SH)은 예산절감을 위해 기존 와이어 스크린을 대신하여 PVC 재질의 스크린을 사용하였으며 현장 총적층 여건에 따라 무공관과 유공관으로 설치함
- 보조주입정 설치 후 완전밀폐형 상부보호관 설치와 트렌치 배관설치공사를 진행함

③ 총적층 지반안정화를 위한 과잉양수 (표 2-5-3-2. 참고)

- 안정적인 지열원수확보를 위해 온수정 및 냉수정의 양수 및 환수의 양적인 성능향상을 목적으로 일정기간 과잉양수를 진행함
- 과잉양수는 총적층 지하수 시설에서 지반을 안정화하여 양수량 증대를 목적으로 시행되는 방법 중 하나이며 본 시설에서는 안정적 지열원수 공급을 위한 추가적인 양수량 확보와 지열정 내 이물질(석분, 모래, 실트 및 점토)을 제거하는 목적으로 진행하였음
- 본 냉난방시스템은 난방운전 시 온수정에서 지열원수를 양수하여 열교환된 폐열수를 냉수정의 총적대수층(모래 및 자갈)에 함양하고 저장하며
- 냉방운전 시 냉수정에 저장된 지열에너지를 열원수로 사용하여 시스템 효율을 향상시키고 열교환 후 다시 온수정의 총적대수층(모래 및 자갈)에 함양하여 열저장하는 방식으로 양수량과 주입량이 동일거나 주입성능이 충분하지 않을 경우 일부 지열수를 배출(drain)하도록 설계하여야 함
- 안정적인 양수량과 주입수량을 확보하기 위해 진행된 과잉양수와 주입은 1개월 동안 진행하였으며 DW-2번 관정 수중 모터펌프를 최대유량이 높은 제품으로 교체함



표 2-5-3-2. 시범운전 시 지열원수 양수 및 주입 모니터링

공번		적정양수량 (ton/day)		적정주입량 (ton/day)		비고
DW-1	온수정 (난방원수)	76	-	-	-	농업용수
DW-2		600(이상 )	960	400(이상 )	780	
DW-3		365	480	170	390	
소계		965	1,440	570	1,170	
DW-4	냉수정 (냉방원수)	240	330	130	348	
DW-5		240	326	100	305	
DW-6		300	440	110	218	
소계		780	1,096	340	871	

- 온수정 지역 적정양수량은 1,440 ton/day, 주입량은 1,170 ton/day로 기존 양수시험 및 주입시험 결과에 비해 양수량은 49% 증가하였고 주입량은 보조주입정을 포함하여 105% 증가하였음
- 냉수정 지역의 적정양수량은 1,096 ton/day, 주입량은 871 ton/day로 기존 양수시험 및 주입시험 결과에 비해 양수량은 41% 증가하였고 주입량은 보조 주입정을 포함하여 156% 증가하였음



그림 2-5-3-5. 지열정 보강공사 : (가) 양수시설인양, (나)지열공 CCTV촬영, (다) 트렌치배관 교체,(라) 지열공 보강공사, (마) 보조주입정 보강공사, (바) 완전밀폐형 상부 보호캡 설치, (사) 기계실 배관 교체, (아) 부지 다짐공사, (자) 부지정리 완료

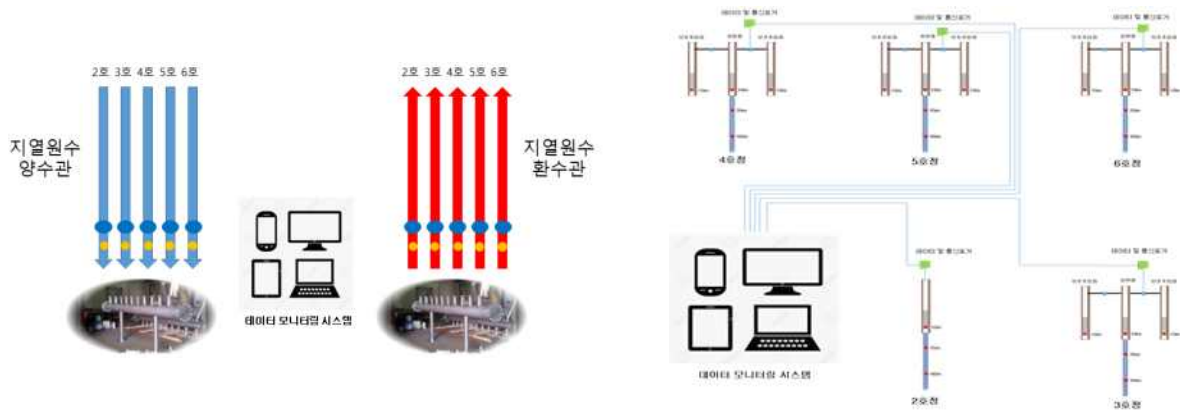


그림 2-5-3-6. ATEs 시스템 지중 열교환기 관련 모니터링장비 설치 개념도

- 위와 같은 양수량 증가는 총적대수층의 안정화와 유로가 형성되어 증가한 것으로 판단됨
- 주입량 증가는 추가적인 보조주입정 설치 및 총적대수층 안정화에 의해 증가된 것으로 판단됨

④ 지열정 보강공사 (그림 2-5-3-5. 참고)

- 지열정 보강공사는 시범운전 시 양수량에 비해 주입량 과다로 DW-5번 관정에서 오버플로우(이하 overflow)가 발생하고 그라우팅 구간이 파손되어 보강공사를 시행함
- 지열공 보강공사는 지하수 overflow 현상 방지를 위해 방수용 방석을 설치함
  - 수량: 지열공(BH 또는 DW) 5공, 보조 주입정(SH) 8공(총 13공)
  - 사양: 방수용 레미콘, 3\*3\*0.3m
- 배관교체 설치: 기계실 장비 추가로 배관내부 압력상승 및 주입성능저하 해결 목적으로 기존 환수용 폴리에틸렌(이하 PE) Ø50 mm 파이프를 Ø65 mm 파이프로 교체함
- 기계실 온도모니터링 장치를 설치하기 위해 기존의 PE 파이프를 스테인리스스틸(이하 STS) 파이프로 변경하고 Ø65 mm로 설치함
- STS 파이프에 모니터링 장치 설치를 위해 후렉시블 조인트와 온도 센서구를 설치함



그림 2-5-3-7. 모니터링장비 설치 : (가) 기계실 양수관 전자식 유량계 및 온도센서 설치, (나) 기계실 환수관 전자식 유량계 및 온도센서 설치, (다) 데이터 통신 및 저장장치, (라) 모니터링 화면, (마) 유량계보호통 설치, (바) 보조주입정 온도센서 설치, (사) 온도센서 설치 완료, (아) 지열공 모니터링 패널 설치완료



(가)



(나)



(다)



(라)

그림 2-5-3-8. 수중모터펌프 인버터: (가) 설치공사, (나) 설치완료, (다) 내부전경, (라) 제어 스크린

- 맨홀형태의 상부보호시설을 완전밀폐형 상부보호캡으로 교체하여 지열정 안전성 도모
- 지열공 양수시설 인양후 지하수 CCTV 촬영을 통해 지열공 상태 확인함
- 보강공사는 양수시설물 인양, 관정유지관리를 위한 지하수 CCTV 촬영, 트렌치배관 굴착, 지열정 및 보조주입정 보강(그라우팅), 보조주입정 완전밀폐형 상부보호캡 설치, 기계실 배관 STS 재질로 변경, 관정별 양수 및 주입배관 STS 재질로 교체, 온실 주변 부지 정리 및 다짐 공사 순으로 공사를 진행하였음

⑤ 계간축열(ATES) 시스템 최적운전을 위한 모니터링 (그림 2-5-3-6. 및 7. 참고)

- 각 지열정과 보조주입정을 대상으로 안정적인 냉온열 생산을 위해 지열원수의 적정공급량 및 축열 및 축냉 성능을 향상을 목적으로 지열원수량, 지하수온도측정, 지열정 심도별 온도를 측정함
- 기계실 양수배관 및 주입배관의 지열원수량과 지열원수 온도측정을 위해 각 5개의 양수배관[ $\varnothing 50$  mm(3번~6번 관정),  $\varnothing 65$  mm(2번 관정)], 5개의 환수배관( $\varnothing 65$  mm)에 10개의 전자식 유량계 및 온도센서를 설치함
- 데이터 저장은 한국에너지연구원에서 지중, 기계실 및 온실내부 등의 온도, 습도 및 유량 등을 대상으로 모니터링 진행
- 지열공 온도모니터링은 지열공 DW-2번의 경우 3심도(10 m, 30 m, 50 m) 온도센서를 설치, DW-3번~DW-6번 관정은 지열정 1공에 보조주입정 2공을 1 세트(set)로 구성하고 지열정 내부 3심도(10 m, 30 m, 50 m)와 보조주입정 하부(심도 10 m 내외)에 온도센서를 설치함

(2) 모래여과기를 이용한 이물질 제거기술 개발

① 모래여과기 현장적용 (그림 2-5-3-9. 참고)

- 총적대수층을 이용하는 지열관정의 경우 주대수층은 모래, 자갈, 실트 및 점토 등의 구성되어 일반적인 암반지하수관정에 비해 이물질 발생이 많음
- 일반적인 총적대수층에 포함된 원인 물질은 0.8 mm이하의 모래입자, 공벽(암석)에서 분리된 석분, 스크린 파손으로 유입되는 모래, 지하수에 포함된 침전물, 규산염 입자, 탄산염 입자, 부식물질 및 생물학적 폐기물, 철(III)과 망간(III, IV), 수산화알루미늄  $[Al(OH)_3]$ , 황화물과 다유화물 및 미생물(박테리아, 바이러스, 균) 등임
- 본 시범현장에서 발생하는 주요 원인물질은 스크린으로 유입되는 0.8 mm이하의 모래입자, 석분, 지하수 침전물 등으로 판단되며 수질검사결과에 따르면 미생물의 오염이나 이물질 혼입이 없음



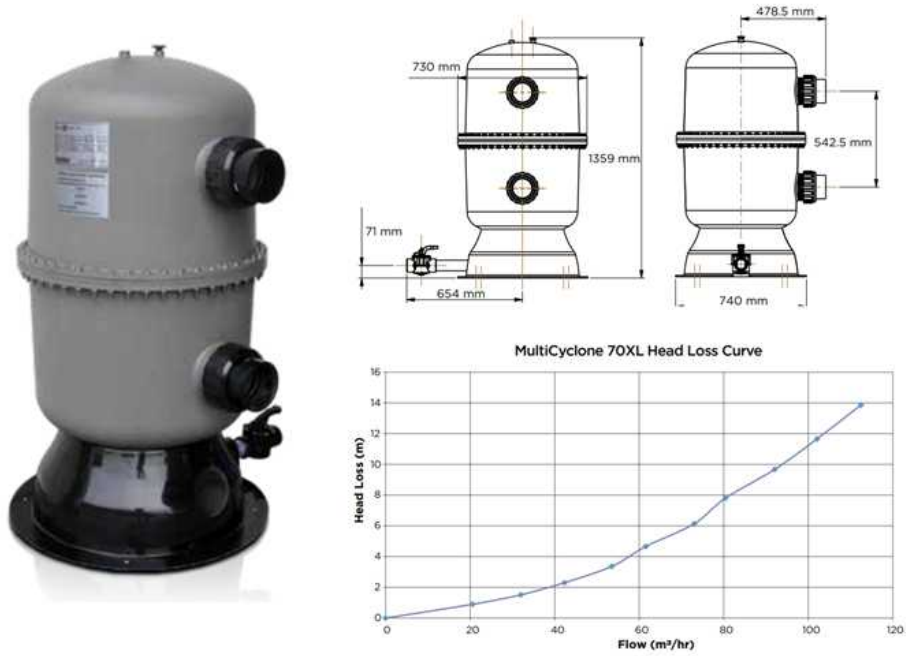


그림 2-5-3-9. 모래여과기 사양 및 성능

② 모래여과기 설치공사 (그림 2-5-3-10. 참고)

- 히트펌프 냉난방시스템의 유지관리와 안정적인 냉온열 생산 및 저장을 위해서는 수배관 폐색과 열교환기의 폐색으로 인한 파손 등의 방지가 중요함
- 지하수 수질검사 결과를 검토한 결과 폐색의 주요 발생원인은 모래, 석분, 미세한 실트 및 점토 등으로 판단됨
- 현장여건을 고려하여 입자화된 이물질을 제거할 수 있는 모래여과기를 설치함
- 모래여과기는 기계실내에 설치하였고 판형 열교환기의 원수입구로 연결된 배관에 설치하여 이물질이 판형 열교환기로 이동되는 것을 방지하여 배관폐색 위험을 최소화 함

(3) 대수층 계간축열 냉난방시스템 설계 매뉴얼

① 설계를 위한 조사 (표 2-5-3-3. 참고)

- 설계를 위한 조사는 크게 문헌조사와 현장조사로 구분
- 문헌조사(사전조사)
  - 지역 수문지질·지하수시설·수자원시설 조사 (국가지하수정보센터, <http://www.gims.go.kr>; KIGAM지질정보서비스시스템, <http://mgeo.kigam.re.kr>)



(가)



(나)



(다)

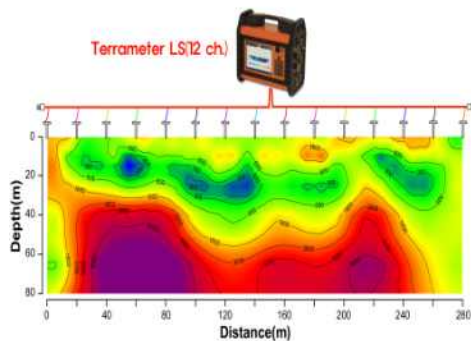
그림 2-5-3-10. 모래여과기 설치공사: (가) 지열원수 배관연결, (나) 모래여과기 설치, (다) 이물질 확인



표 2-5-3-3. 총적대수층 계간축열시스템 지열정(지중 열교환기) 설계를 위한 현장 조사

조사 명칭	구분	용도
지구물리탐사	전기비저항탐사	전류를 이용하여 지반내의 파쇄대·균열대·단층 및 기타 지질구조 확인
지반조사	시추조사	지역의 지층분포상태, 공학적 특성 확인 및 지하수 시료채취 등을 통해 지반의 성상을 파악
대수성시험	연속양수시험	지하수의 양을 확인하기 위한 목적
	단계양수시험	효율적인 운전을 위한 목적
	회복시험	지하수 양 및 효율적인 운전을 위한 목적
	주입시험	ATES 공법 운전 시 환수량 확인을 위한 목적

- 수문지질 검토: 수문지질도, 수질현황, 지하수심도분포, 지하수 산출분포
- 지하수시설 검토: 개발이용관정, 관측망, 조사시설, 수온, 수위
- 수자원시설 검토: 댐, 하천, 관측소
- 현장답사
  - 주변지하수 현황조사
  - 지역 현황조사
  - 작업 환경조사(시추조사 위치 선정)
- 수문지질학적 조사
  - 지구물리탐사
  - 지반조사
  - 대수성시험
- 지구물리탐사 (그림 2-5-3-11. 참고)
  - 전기비저항 탐사는 지반의 겉보기비저항 분포를 측정한 후 각층의 비저항치를 산출하여 점성토층, 사력층, 풍화대 등 지층분포와 기반암 형상 등을 추정하고, 대수층 두께와 심도, 본 바닥층 두께와 형태 판정 등 탄성파 탐사로서는 파악하기 어려운 고속도 및 저속도 협재층을 검출하는 목적으로 사용함
  - 전기비저항탐사 방법은 조사 지역에 대한 고찰을 통해 측선 설정 후 해석하고자 하는 심도에 따라 적절하게 측선별로 전극 간격 선정함
  - 측량 자료 및 줄자 등을 이용한 측점 위치 선정 후 측정위치에 전극을 설치한 후 전선을 각 전극에 연결하고 멀티미터(Multimeter)를 이용하여 각 측점의 접촉 저항을 측정함
  - 이 중 접촉 저항이 불량한 곳에 대해서 염수 주입 또는 측점 위치 조정을 하고 이후 전류 전극에 전류를 보내준 후 전위 전극을 통해 전위차 측정함
  - 탐사 결과로 얻어지는 자료는 지하 참비저항 값이 아닌 겉보기 비저항 값임

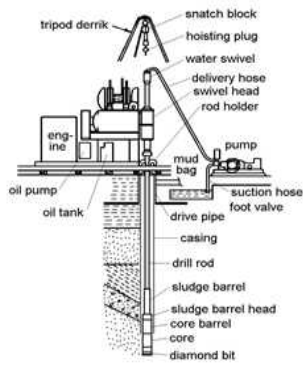


(가)



(나)

그림 2-5-3-11. 전기비저항탐사: (가) 모식도, (나) 실험 전경



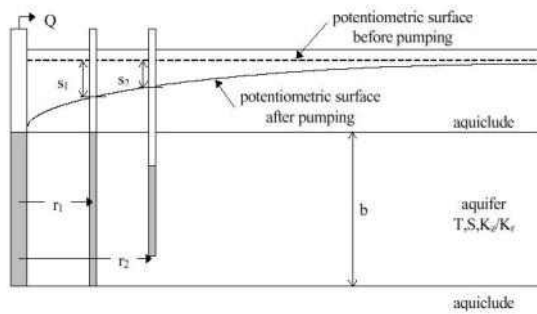
(가)



(나)

그림 2-5-3-12. 시추조사: (가) 시추조사 모식도, (나) 시추조사 전경

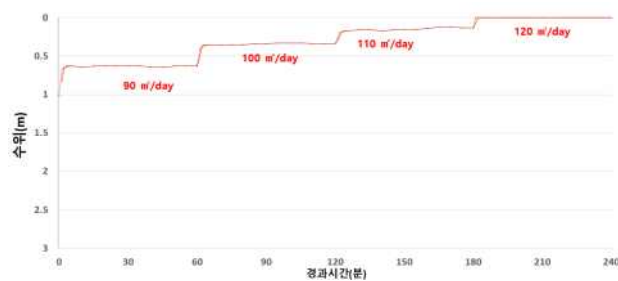
- 얻어진 겉보기 비저항 값을 이용하여 지하의 참 비저항 값을 알아내기 위해서는 적절한 역산 및 해석과정 필요함
- 지반조사 (그림 2-5-3-12. 참고)
  - 시추조사는 과업 지역의 지층분포상태, 공학적 특성 확인 및 지하수 시료채취, 지하수 수위 확인을 위한 목적임
  - 지반 내에 시추공을 굴진하여 지반의 성상을 파악하는 가장 대표적인 현장조사로서 시추조사와 병행하여 시추공 내에서 표준관입 시험을 실시함
- 대수성시험 (그림 2-5-3-13. 참고)
  - 암석이나 토양에 발달되어 있는 공극에 포함되어 있으므로 이 공극의 성질 특히 수리적 성질에 따라 물이 이동이나 투수능력이 결정됨
  - 수리성질에는 투수계수(T)와 저류계수(S) 등이 있으며 이들은 대수층 상수로 거의 일정한 고유값이 됨
  - 이 상수를 이용하여 지하수에 대한 양적 평가를 진행함



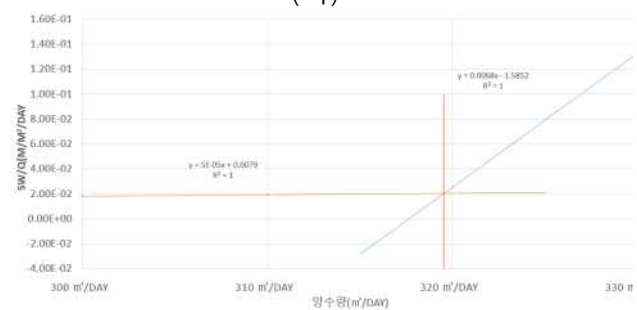
(가)



(나)



(다)



(라)

그림 2-5-3-13. 대수성 시험: (가) 자유면 대수층에서 양수시험에 의한 지하수면의 변화, (나) 대수성 시험 전경, (다) 단계 양수시험 결과, (라) 적정양수량 도출

- 장기 양수시험은 지하수위가 회복된 다음 일정한 양수량으로 양수하여 양수정 및 관측정에서 양수시간에 따른 지하수 수위 강하를 측정하고 관측정이 없는 경우 양수정만 측정함
- 장기 양수시험은 12시간 이상 연속으로 측정함을 원칙으로 하나 안정수위가 잡히지 않을 시 안정수위가 확인될 때까지 실시함
- 단계 양수시험은 지하수위가 회복된 다음 4단계 이상의 일정한 양수량으로 양수하여 2시간 측정 후 다음 단계 양수량으로 양수를 진행 및 지하수 수위강하 측정 및 적정양수량 측정함
- 회복시험은 대수성 시험 정지시점으로부터 양수정에서 경과시간별 회복수위를 관측한 결과를 이용하여 대수성 수리상수인 투수량계수를 산출함
- 양수시험 종료와 동시에 펌프의 작동을 중지시키고 경과시간에 따른 회복수위를 2시간 이상 측정함
- 주입시험은 지하수위가 회복된 다음 4단계 이상 일정한 주입량을 관정 내로 주입하여 2시간 측정 후 다음 단계의 주입량을 주입하여 지하수위 측정 및 적정주입량 측정함
- 수문지질학적 조사목적은 지열공 설계를 기본 자료로 사용하기 위해 넓은 범위의 지층분포 및 기반암 형상 등을 추정하는 목적으로 전기비저항탐사를 진행하며 그 결과를 활용하여 특정지역의 지층분포 및 기반암 형상 등을 확인하여 설계에 반영하는 목적으로 시추조사를 진행함
- 대수성 시험은 시험공을 구축하고 대상지역에서 실질적으로 사용할 수 있는 지하수 수량을 확인하는 목적으로 진행함
- 본 과업에 적용된 계간축열(ATES) 시스템은 양수와 주입이 동시에 이루어지는 공법으로 양수량 및 주입량 검토가 필요함

## ② 수문지질학적 고려사항

- 밀폐된 대수층: 불투수 대수층은 물의 흐름과 열 상호작용을 제한하기 때문에 상하부 밀폐된 대수층(불투수 대수층)이 필수적임 (예 : 상부 실트·점토, 하부 연암)
- 대수층 두께: 국내 총적층은 지역에 따라 5 m~30 m 내외로 4대강을 비롯한 큰 강 유역에 분포하여 있어 지역적인 한계가 있고, 대수층 두께가 국외 ATES 설치지역에 비해 얇아 지열정 용량의 한 개가 있음
- 대수층 투수계수: 계간축열(ATES) 시스템을 적용하기 위해서는 투수계수가 높은 지역이 유리함
- 국내의 경우 대수층 투수계수 5 m/day ( $5 \times 10^{-3}$  cm/s)~20 m/day ( $2.3 \times 10^{-2}$  cm/s) 범위 적용 할 경우 효율적인 시스템구축이 가능함
- 총적대수층에서 투수계수가 높은 것은 지하수량이 풍부한 것을 의미하며 단일 관정에서 많은 지하수를 생산할 수 있어 설치비가 감수하는 효과가 있으나 축열 및 축냉의 효율이 감소함
- 지하수의 동수구배(hydraulic gradient, 국외): 1/1,000 이하 일때 열에너지의 분산이 적어 효율적인 열저장시스템 구축이 가능함
- 시설 주위 반경 500 m 이내에 지하수 사용시설이 없는 것이 축열성능향상에 유리하며, 대형 지하수 사용시설이 있는 경우 지하수법상 규제와 축열효율에 영향이 미칠 수 있어 주의가 필요함
- 수문학적 영향범위 내에 지하수 오염이 있는 경우 양수와 주입시 인위적인 오염 확산 및 법적인 문제가 발생할 수 있음
- 지열 원수수질은 중성 지하수가 최적이며 부식성(철 또는 망간) 및 염분이 섞인 지하수의 경우 설계 및 시공시 우물의 스크린, 배관설비 및 기밀성에 주의를 요함

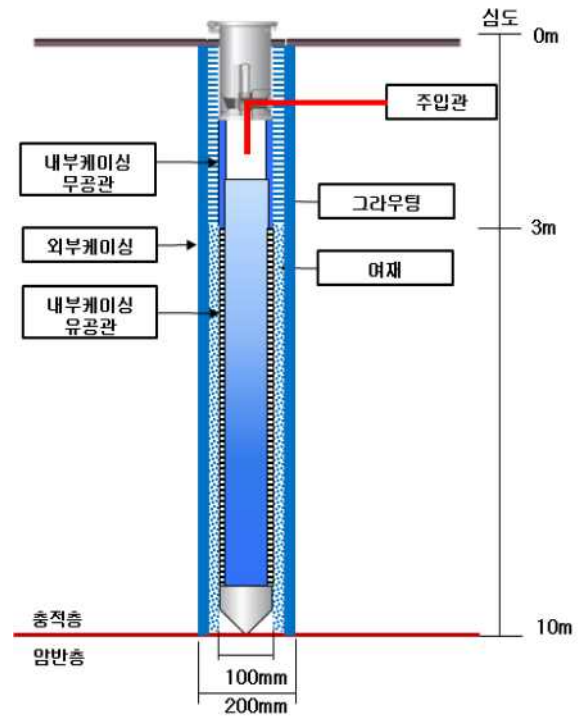
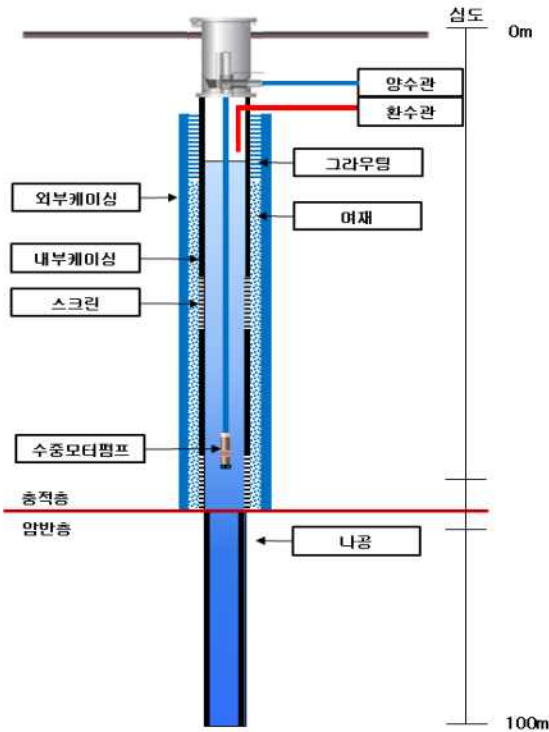
③ 지열정의 설계 시 고려사항

- 총적층 두께 확인: 10 m~30 m
  - 10 m 이하의 총적층은 계간축열(ATES) 시스템의 물순환(양수 및 환수)을 제한적이며 대수층 선택에 어려움이 있음
  - 총적대수층 지하수량이 적어 다수개 관정을 구축하거나 주입성능이 많은 지하수를 외부로 배출하고 버려지는 지하수자원의 고갈로 안정적인 계간축열 시스템 운전이 불가능할 수 있음
  - 주입성능을 증대시키는 목적으로 주입압력을 높일 경우 지열정 overflow와 지열정 주변 대지에서 지하수 overflow 현상의 원인이 되어 시설주변 지형의 변형이 발생하는 위험성이 있음
  - 충분한 총적층 두께 확보는 안정적인 계간축열(ATES) 시스템에서 가장 중요한 고려사항임
- 계간축열(ATES) 시스템 성능향상을 위해 고려사항으로 지층구조(상부 실트 및 점토, 하부 연암)에 대한 이해가 필요함
- 계간축열시스템의 성능향상에 중요한 요소는 축열성능임
- 축열성능은 충분한 열저장시간, 지하수흐름이 일정하게 제한할 수 있는 지층구조, 주변 지하수온도 보다 높거나 낮은 주입수 온도(10 °C) 및 주입유량 등이 있음
  - 효율적인 계간축열(ATES) 시스템의 시설을 구축하기 위해서는 최소 5 m/day ( $5 \times 10^{-3}$  cm/s)에서 최대 20 m/day ( $2.3 \times 10^{-2}$  cm/s)의 투수계수가 적합함
  - 투수계수는 토양에서 물 통과 용이성을 나타내는 계수로 수치가 낮은 경우 지하수의 흐름이 느리고 지하수 보존량이 작아 사용가능한 지하수자원이 부족하고 수치가 높은 경우 지하수의 흐름이 빠르고 지하수 보존량이 많아 축열성능이 감소됨
  - 불투수 대수층이 있어 지하수 흐름과 열 상호작용을 제한함 (상부 실트 또는 점토, 하부 연암)
  - 열교환온도( $\Delta t=10$  °C)와 충분한 주입성능으로 축열/축냉에 필요한 지하수량 확보
- 지하수의 동수구배(hydraulic gradient)는 1/1,000 이하 일때 에너지의 분산이 적고 크면 에너지 손실이 큼
- 주변 지하수 대규모 사용시설이 있는 경우 지하수 축열성능에 영향과 지하수법상 규제가 있음 (반경 500 m이내 지하수 사용자가 있는 경우)
- 수문학적 영향범위 내에 지하수 오염이 있는 경우 양수 및 주입으로 인해 인위적인 오염 확산 및 법적인 문제 발생 위험이 있음
- 지하수 수질은 중성인 지하수가 최적이며 부식성(철 또는 망간) 및 염분이 섞인 지하수의 경우 설계 및 시공시 우물의 스크린, 배관설비 및 기밀성에 주의를 요함
- 지열정의 위치는 온수 축열지역과 냉수 축냉지역을 구분하고 이격거리는 50 m~100 m로 축열지역간에 지하수 영향이 없어야 함
- 동일 축열지역의 지열정 간의 이격거리는 현장여건에 따라 15 m~30 m가 효율적임
- 지열정과 보조 주입정의 이격거리는 현장 여건에 따라 5 m~10 m가 효율적임

④ 총적대수층 계간축열(ATES) 시스템 지열공 구축 (그림 2-5-3-14. 및 15. 참고)

- 지열공 설치공정은 문헌조사, 현장조사, 시험공 구축, 대수성시험, 지열공 설계, 지열공 구축, 양수시설물 설치, 상부보호시설 설치, 대수성시험, 트렌치배관 설치 및 현장정리 순으로 진행함





- 충적층 굴착 직경:  $\varnothing 450$  mm
- 외부케이싱:  $\varnothing 400$  mm(굴착 후 인발)
- 내부케이싱:  $\varnothing 200$  mm~ $\varnothing 250$  mm
- 충적층 굴착 깊이: 연암상부에서 1 이상
- 스크린 위치: 충적대수층
- 암반층 굴착 직경:  $\varnothing 200$  mm~ $\varnothing 250$  mm
- 암반층 굴착 깊이: 연암상부에서 100 m

- 굴착 직경:  $\varnothing 250$  mm
- 외부케이싱:  $\varnothing 200$  mm (굴착 후 인발)
- 내부케이싱:  $\varnothing 100$  mm
- 굴착 깊이: 연암상부에서 1 이상
- 무공관: 지표에서 3 m
- 유공관: 3 m에서 충적층 하부

(가)

(나)

그림 2-5-3-14. 완주군 소재 실증온실(장기리 1187) 충적대수층 계간축열(ATES) 시스템 지열공 구축 단면: (가) 본공(Borehole; 이하 BH), (나) 보조공(Sub-borehole)

#### (4) 계간축열(ATES) 시스템 운전 매뉴얼

##### ① 계간축열(ATES) 시스템 운전 개요

- 계간축열(ATES) 시스템 최적 운전은 냉난방 부하에 따라 안정적인 원수공급과 효율적인 축열성능을 유지하도록 시스템을 설정하고 운전하는 것임
- 안정적인 원수공급과 효율적인 축열성능은 각 관정별 적정양수량과 적정주입량을 확인하고 최대열부하에 따라 히트펌프에서 요구하는 최대 지열수량을 선정함 (표 2-5-3-4. 참고)
- 냉수정과 온수정 지역선정은 최대 냉난방 운전부하량과 평균 냉난방 운전부하량 및 예상 냉난방 운전시간 등을 고려하여야 함
- 일반적으로 온실 냉난방 부하는 난방부하를 기준으로 산정함
- 그 이유는 온실의 냉난방에 있어 온실의 냉방운전은 선택적으로 사용 가능하나 난방운전은 필수적이며 그 이유는 난방운전에서 부하량이 부족하거나 난방운전이 정지되면 작물의 성장에 직접적인 문제가 발생됨
- 따라서 안정적인 난방운전을 위해 충분한 지열원수를 생산할 수 있는 지역을 온수정 지역으로 선정하고 냉수정 지역의 주입량을 검토하여 부족한 주입량이 발생할 경우 추가적인 주입관정을 구축하거나 드레인 하여야 함



<위치선정>



<충적층 굴착>



<외부케이싱 설치>



<암반 굴착>



<세정>



<내부케이싱 설치>



<여재 충전>



<외부케이싱 안발>



<굴착 완료>

그림 2-5-3-15. 완주군 소재 실증온실(장거리 1187) 충적대수층 계간축열(ATES) 시스템 지열공 구축 순서

- 원수량이 부족한 경우 충적대수층 지하수 특징인 빠른 지하수 수위 회복시간을 이용하여 1시간 또는 2시간 단위에서 최대 양수량을 조사하여 운전방법을 조절하여 지하수량을 확보하거나 추가 관정을 구축하여야 함
- 효율적인 축열성능을 유지에 있어 전제조건은 충분한 열교환온도(주변 지하수에 비해 높거나 낮은)와 충분한 주입량에 결정됨
- 열교환온도가 5 ℃ 이하이거나 주입량이 미비한 경우 축열성능을 기대하기 어려움
- 계간축열(ATES) 시스템 운전에 있어 축열은 열교환온도를 기준으로 운전 설정하는 것이 유리함
- 일정한 주입량을 공급하고 열교환온도가 낮은 경우 수중 모터펌프의 동력소모에 비해 시스템 효율이 낮으며 축열성능 또한 미미함
- 일정한 열교환 온도( $\Delta t=8\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ )를 유지할 경우 부하량이 적으면 양수량을 감소시켜 수중 모터펌프 동력소모를 감소시키고 지하수자원 보호와 주입시 발생하는 문제 중 하나인 overflow 현상을 방지할 수 있음
- 충적층을 이용하는 계간축열(ATES) 시스템에 가장 효율적인 구성방법은 부하량에 따라 설정되는 양수능력과 주입능력에 충분한 안전율을 가진 지열공 성능과 최대부하를 공급할 수 있는 히트펌프 시스템
- 또는 일정한 열에너지를 저장할 수 있는 축열조 등으로 구성된 냉난방 시스템에서 가장 우수한 성능을 발휘할 수 있음
- 현재 시범시설은 열원으로 계간축열(ATES) 시스템과 하천수열, 인버터식 히트펌프 및 냉매방식 팬코일 등으로 구성되어 있음

표 2-5-3-4. 완주군 (장기리 1187 번지) 소재 실증온실 계간축열(ATES) 시스템 온수정과 냉수정 선정 기준 및 운전 조건

온수정 선정		냉수정 선정	
열교환 온도	8 °C	열교환 온도	8 °C
지열원수 이용 관정	BH-2, BH-3	이용 관정	BH-4, BH-5, BH-6
지열 원수량	900 (최대 1,440) ton/day	필요 지열 원수량	900 (최대 1,090) ton/day
지열원수 이용 관정	BH-4, BH-5, BH-6	이용관정	BH-2, BH-3
주입 수량	900 (최대 870) ton/day	필요 주입 수량	900 (최대 1,100) ton/day
운전 방법	2시간 당 10분 휴식	운전 방법	2시간 당 10분 휴식

- 실내부하(온도)에 따라 전체시스템이 민감하게 반응할 수 있는 장점이 있음
- 그러나 계간축열(ATES) 시스템 방식으로 설치된 지하시설물은 인버터식 히트펌프의 즉각적인 부하반응에 따른 지열원수량을 변화시키는 것이 어려운 실정임
- 최대부하에 따른 양수량과 주입량을 설정하여 공급하는 방법으로 설치된 지중시설물은 많은 양의 지하수를 생산하여 공급하지만 실제 사용되는 열에너지는 적은 상태이며 대상 부지의 지하수 온도와 작은 차이의 주입수를 함양함으로써 축열성능은 미미하고 동력소모는 높은 상태로 운전됨
- 이러한 문제를 해결할 방법으로 유량을 조절할 수 있는 인버터를 적용하였으나 지중시설 제어에 있어 필요 부하량 변화에 따라 5대의 히트펌프에서 번칙적으로 운전되는 상태에 맞는 유량을 공급하는 어려움이 있었음
- 시범시설과 같이 물대냉매 방식의 히트펌프는 부하에 따른 빠른 대응이 가능한 장점이 있으나 열원의 공급에 있어 빠른 대응이 어려웠음
- 효율적인 시스템 운전을 위한 방법으로 저용량 다수의 히트펌프 보다 대용량 소수의 히트펌프가 유리하고 축열조를 설치하여 히트펌프에서 일정한 부하로 열에너지를 생산하는 것이 바람직함
- 물대물 히트펌프를 이용하여 부하대응시간 조정하는 방법으로 물을 냉매로 사용할 경우 냉매에 비하여 부하 변동이 느림 (실내배관 내 물 냉매가 소형 축열조 역할)

② 계간축열(ATES) 시스템의 지열공 성능검토

- 지열원수 흐름은 온수정에서 양수하여 열교환기로 이동하고 열교환기에서 열교환이 끝난 지열원수를 냉수정으로 주입하여 축냉하는 지열공에 열에너지를 저장함
- 100 RT급 지열냉난방시스템 부하량에 필요한 지열원수량은 열교환 온도차  $\Delta t=8\text{ }^{\circ}\text{C}$  경우 최소 900 ton/day 이상임
- 온수정 BH-2번공 양수성능은 960 ton/day로 시범시설에 설치된 지열공 중 가장 성능이 우수하였음
- 온수정 BH-3번공 양수성능은 480 ton/day로 충분한 양수성능을 확보하였음
- 냉수정 BH-4번공, BH-5번공, BH-6번공 주입성능은 각각 348 ton/day, 305 ton/day, 218 ton/day으로 측정됨
- 시범시설 히트펌프 시스템에 공급되어야하는 냉난방 지열원수량은 900 ton/day 지하수를 일정하게 양수하고 열교환 후 900 ton/day 지하수를 주입·함양 가능한 지열공을 구축하여야함
- 난방시 지열원수를 공급하는 온수정 BH-2번공, BH-3번공 총 양수량은 1,440 ton/day로 60% 가량 여유가 있으나 주입하는 냉수정 BH-4번공, BH-5번공, BH-6번공 총 주입량은 871 ton/day로 약 4% 정도 주입성능이 부족함

표 2-5-3-5. 완주군 (장기리 1187 번지) 소재 실증온실 계간축열(ATES) 시스템 장착 인버터  
속도에 따른 지하수 생산량

DW-2		DW-3		DW-4		DW-5		DW-6	
속도 (Hz)	유량 (m <sup>3</sup> /h)	속도 (Hz)	유량 (m <sup>3</sup> /h)	속도 (Hz)	유량 (m <sup>3</sup> /h)	속도 (Hz)	유량 (m <sup>3</sup> /h)	속도 (Hz)	유량 (m <sup>3</sup> /h)
20	11.4	20	5.6	20	3	20	3.8	20	2.7
25	15.1	25	7.6	25	4.4	25	5	25	4.9
30	18.9	30	9.6	30	5.6	30	6.2	30	6.8
35	22.6	35	11.5	35	6.8	35	7.3	35	8.4
40	26.3	40	13.5	40	7.9	40	8.1	40	9.7
45	29.7	45	15.4	45	9	45	10	45	11.6
50	33.3	50	17	50	9.9	50	10.9	50	14.9
55	36.4	55	18.2	55	11.1	55	12.1	55	17
60	40	60	20	60	13.8	60	13.7	60	18.3

- 부족한 주입량을 확보하는 방법은 냉수정 지역에 추가적인 주입공 구축, 열교환온도 증가, 보조열원인 바이오설비의 사용 및 총적대수층의 특징 중 하나인 복원시간을 고려한 히트펌프 연속운전시간 조정 등이 있음
- 냉수정 BH-4, BH-5, BH-6의 양수성능은 각각 330 ton/day, 320 ton/day, 440 ton/day으로 시범운전 시 측정되었고 온수정 BH-2, BH-3의 주입성능은 각각 780 ton/day, 390 ton/day로 측정됨
- 냉방 시 지열원수를 공급하는 냉수정 BH-4, BH-5, BH-6의 총 양수량은 1,090 ton/day로 20% 여유가 있고 주입하는 온수정 BH-2, BH-3의 총 주입량은 1,170 ton/day로 약 23% 여유가 있음

③ 계간축열(ATES) 시스템의 지열공 유량조절

- 대상시설은 히트펌프로 공급되는 지열원수량을 조절하는 목적으로 각 지열관정 수중모터펌프 유량조절 목적으로 인버터를 설치하여 운전
- 인버터 용량
  - BH-2호정: 7.5 HP (난방시 열원수)
  - BH-3호정: 5.0 HP (난방시 열원수)
  - BH-4호정: 3.0 HP (냉방시 열원수)
  - BH-5호정: 3.0 HP (냉방시 열원수)
  - BH-6호정: 5.0 HP (냉방시 열원수)
- 인버터 사용범위(Hz)
  - 인버터 시운전시 20 Hz이하의 운전에서 양수량이 감소하는 경향이 있음
  - 인버터 사용범위: 20 Hz~60 Hz
- 인버터 속도에 따른 지하수 생산량 (표 2-5-3-5. 참고)
- 인버터 운전은 히트펌프 운전시작 전 배관내 체류된 지하수 배출 목적으로 2~5분간 선행운전
- 난방운전에서는 2분간 선행운전 유량조절은 DW-2 경우 20 Hz, DW-3 경우 35 Hz로 운전함
- 2분 운전 후 지열원수와 환수와의 온도차를 측정하여 5 °C 이하인 경우 DW-2 지열정을 정지하고 DW-3 지열정 운전속도를 감속하여 온도차를 8 °C로 유지함
- 지열원수와 환수 온도는 1분 단위로 측정하며 급격하게 온도 변화시 DW-2번 지열정을 사용하고 열교환 온도차가 작을 경우 DW-3번 지열정을 이용하여 온도차가 8 °C로 유지되도록 운전함





그림 2-5-3-16. 지열원수에 포함된 폐색현상 원인물질

- 냉방운전에서는 2분간 선행운전 유량조절은 DW-4 경우 30Hz, DW-5 경우 30Hz, DW-6 경우 45 Hz로 운전함
- 2분 운전 후 지열원수와 환수와의 온도차를 측정하여 5 °C 이하인 경우 DW-6 지열정을 20 Hz까지 감속하고 DW-4, SW-5 순서로 감속 운전하여 온도차를 8 °C로 유지함
- 지열원수와 환수 온도는 1분 단위로 측정하며 급격한 온도변화 시 두 개의 지열정을 사용하고 열교환 온도차가 작을 경우 DW-5, DW-4, DW-6번 순서로 지열정을 운전속도를 조절하여 8 °C로 유지되도록 운전함

## (5) 계간축열(ATES) 시스템 유지관리 매뉴얼

### ① 계간축열(ATES) 지열공 유지관리

- 정호(지열공)는 하천수와 함께 부유물질이 유입되면서 개발 후 수년이 경과하면 집수량이 줄어드는 현상인 폐색(Clogging)이 진행됨
- 폐색은 대수층 및 수직 집수관 스크린에 발생하여 유량을 감소시키고 궁극적으로는 수직 집수정 하부에 침전물 퇴적으로 여과수 오염을 야기하므로 이러한 현상을 억제하여야 집수정 효율을 높일 수 있음
- 폐색현상(Clogging) 등의 이유로 양수량이 감소할 경우 공극률을 증가시키고 유입통로를 확충하기 위하여 집수관을 청소하고 수직 집수정 바닥 퇴적 침전물을 깨끗이 제거하여 효율을 회복하여야 함
- 현재 지하수 관정 효율 저하나 수질 악화 시 국내에서 흔히 동원되는 수단은 물리 및 기계적인 처리 및 화학적인 처리방법이 있음
- 물리 및 기계적인 방법은 양수, 서징, 제팅 등이 있으며 화학적인 처리방법은 물리 및 기계적인 방법과 같이 사용하는 것이 효과적임
- 국외에서는 화약을 이용한 폭파법과 진동, 초음파, 펄스 등을 이용하는 방법들이 개발되어 사용 중에 있으나 국내에서는 위험성과 기술적인 문제로 적용사례가 적은 실정임

표 2-5-3-6. 국내 지열정 유지보수 기술 요약

명칭	방법
Brushing	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 철선이나 내마모성이 양호한 고분자 합성 화합물 선재를 굴뚝 청소용 솔 모양으로 만들어서 우물 속에 넣고 상하 반복하는 단순 제거 방법</li> <li>- 간편한 방법이지만 관정 내부만 청소 가능</li> <li>- 침전물이 스크린 슬롯에서 제거되기보다는 재차 편재될 위험이 있음</li> </ul>
Surge Blocks	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 우물을 서지 블록의 상하운동을 통해서 세정하는 방법으로 피스톤의 원리임</li> <li>- 나공 관정에서는 사용하기 어렵고 왕복 강도가 커지면 스크린에 손상을 입힐 수 있음</li> </ul>
압축불기법 (Air-Surging)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 고압압축기(컴프레샤)에서 발생하는 고압의 공기를 이용하여 지하수 취수정 내부의 지하수 및 오염물질을 밖으로 내보냄</li> <li>- 현재 국내에서 가장 많이 사용하는 방식임</li> <li>- 에어써징에 사용하는 컴프레샤의 최대압은 350 psi (25 kgf/cm<sup>2</sup>, 수심 250 m 심도압)으로 250 m 이상 깊이의 관정에서는 불가능한 공법임</li> </ul>
Jetting	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 과도한 고압사용은 케이싱이나 스크린에 손상을 입힐 수 있음</li> <li>- 스크린에서 분리된 이물질이 스크린이나 여재층에 재차 편재될 위험이 있음</li> </ul>
폭약 발파	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 폭약을 사용하기 때문에 법적 규제가 많고 취급을 위해 별도의 전문가가 필요</li> <li>- 압력조절이 불가능하여 안정성에 문제가 있을 수 있음</li> </ul>
화학적 처리	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 처리시간이 길어질 수 있음</li> <li>- 적정량 이상을 사용할 시 2차 오염 발생 우려</li> <li>- 물리적인 공법과 병행할 시 청소효율을 증가시킬 수 있음</li> </ul>

② 지열원수에 포함된 폐색현상 원인물질 (그림 2-5-3-16. 참고)

- 폐색현상 원인물질인 부유물질과 용해물은 지하수에 의해 이동됨
- 대표적인 용해물은 규산염입자, 탄산염입자, 부식물질, 생물학적 폐기물, 철과 망간, 수산화알루미늄, 황화물과 다유화물, 미생물(박테리아, 바이러스, 균) 등이 있음
- 부유물질은 미립자 즉 0.8 mm 이하의 모래입자, 공벽(암석)에서 분리된 석분과 지하수에 포함된 침전물 등을 나타냄
- 총적대수층과 암반을 동시에 사용하는 지열공에서 자주 발생하는 폐색현상 원인물질은 0.8 mm 이하의 모래입자, 공벽(암석)에서 분리된 석분, 스크린 파손으로 유입되는 모래, 지하수에 포함된 침전물, 규산염 입자(실트 및 점토, 고중합 이산화규소), 철(Fe) 또는 망간(Mn), 미생물(박테리아, 바이러스, 균) 등이 있음

③ 계간축열(ATES) 지열공 유지관리 시점 (세정 시기 결정 기준)

- 지열정 개발 후 시간이 경과함에 따라 대수층 공극이나 취수정에 설치된 스크린 개공을 이물질 또는 흙 입자가 막아버리는 피막현상이 발생할 경우 지하수 취수량 감소, 지하수 위 저하 및 지열정 성능감소 등의 문제가 발생 할 경우
- 지열정에 설치된 우물 자재나 수중 모터펌프, 배관 등 양수설비 노후화에 따른 부식이나 이물질 침전 등으로 인한 수질 악화
- 수중 모터펌프 효율 저하, 전선, 토출관 등 관련 설비 기능 저하 또는 이상발생으로 시설 가동효율 저하
- 상부 보호공 균열, 누수 현상 발생 등

④ 국내 지열정 유지보수 기술 (표 2-5-3-6. 참고)

⑤ 지열관정 세정 절차 (표 2-5-3-7. 참고)

표 2-5-3-7. 지열관정 세정 절차

세정 절차	내용
양수설비 인양 및 상태점검	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 지열정 내부에 설치된 양수설비 일체를 인양</li> <li>- 인양된 양수설비를 품목별로 정리</li> <li>- 상태를 점검하여 정비방법(세척 또는 교체)을 결정</li> </ul>
지열정 공내촬영	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 양수설비 인양 후 최소 24시간 이후 실실</li> <li>- 지열정 내부케이싱, 스크린 상태 확인</li> </ul>
지열정 내부 청소	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 암반층 대상으로 압축불기법 시행</li> <li>- 이물질 제거를 위해 진공흡입(역가압)법 시행</li> </ul>
양수설비 정비	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 양수설비 상태점검 과정에서 재사용이 결정된 경우 수중모터펌프, 양수관, 수중동력전선, 자동제어전선, 수위측정관 등을 세척하고 부속교환 등의 작업</li> </ul>
지열정 공내촬영	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 지열정 내부 청소 후 최소 24시간 이후 실실</li> <li>- 지열정 세정상태 확인</li> </ul>
양수설비 재설치	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 지열정 내부에 설치된 양수설비 일체를 설치</li> </ul>
부대시설 정비 및 시험가동	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 부대시설 상태확인(상부보호공 상태 점검, 주변지역 정비, 인버제어 상태 점검 및 정비)</li> <li>- 시험가동</li> </ul>
세정 완료	

[협동기관] ㈜센도리 (기관별 핵심성과 위주 10쪽 이내 작성)

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용	연구결과
2단계 1차 년도 (2022)	융복합 재생에너지 인증 히트펌프 시스템 개발 및 구축	융복합 적용 기술 실증 성능평가 및 최적화	○융복합 신재생시스템 설치공사 및 스마트 제어 공사	○융복합 신재생시스템 설치 완료 ○지열난방 수행 ○지열+하천수열 냉방 수행 ○스마트 제어 공사 완료 ○지열, 하천수열, 펠릿보일러 개별 제어 수행 ○융복합 제어 수행
			○여과세정장치 설치 및 성능 평가	○여과세정장치 설치 운영 ○하천수 열원공급라인 여과세정장치 설계 및 제작 후 설치 ○여과세정장치 ○모래여과장치
			○수열원 히트펌프 실 증 운전 및 제어기술 고도화 (하우스 에너 지 사용량 패턴 정 의)	○히트펌프 실증 운전 ○지열원 실증 운전: 난방 ○하천수열원 실증 운전 ○펠릿보일러 실증 운전 ○제어기술 고도화 ○지열+하천수열 운전 ○지열+펠릿 운전
			○에너지 사용에 대한 최적운전 제안 및 모 니터링	○운전 모니터링 및 최적운전 제안 ○시스템 COP 모니터링
			○수열원 히트펌프 시 스템과 펠릿 보일러 자동운전제어 고도 화 및 사후관리 지원 방안 제시	○열원별 자동제어 ○부하공조별 자동제어 ○멀티유닛, 복사열 냉방 자동제어 ○멀티유닛, 복사열 난방 자동제어
			○분야별 공통기능을 표준화 및 비즈니스 솔루션 도출	○표준화 ○시스템 경제성 비교분석

(1) 융복합 신재생시스템 설치공사 및 스마트 제어공사

① 융복합 신재생시스템 설치 결과

- (기계실 구축) 해당 시스템을 온실에 구축하기 전 기계실을 다음 그림 2-5-4-1.과 같이 구축하였음



그림 2-5-4-1. 기계실 구축: 외부(왼쪽), 내부(오른쪽)



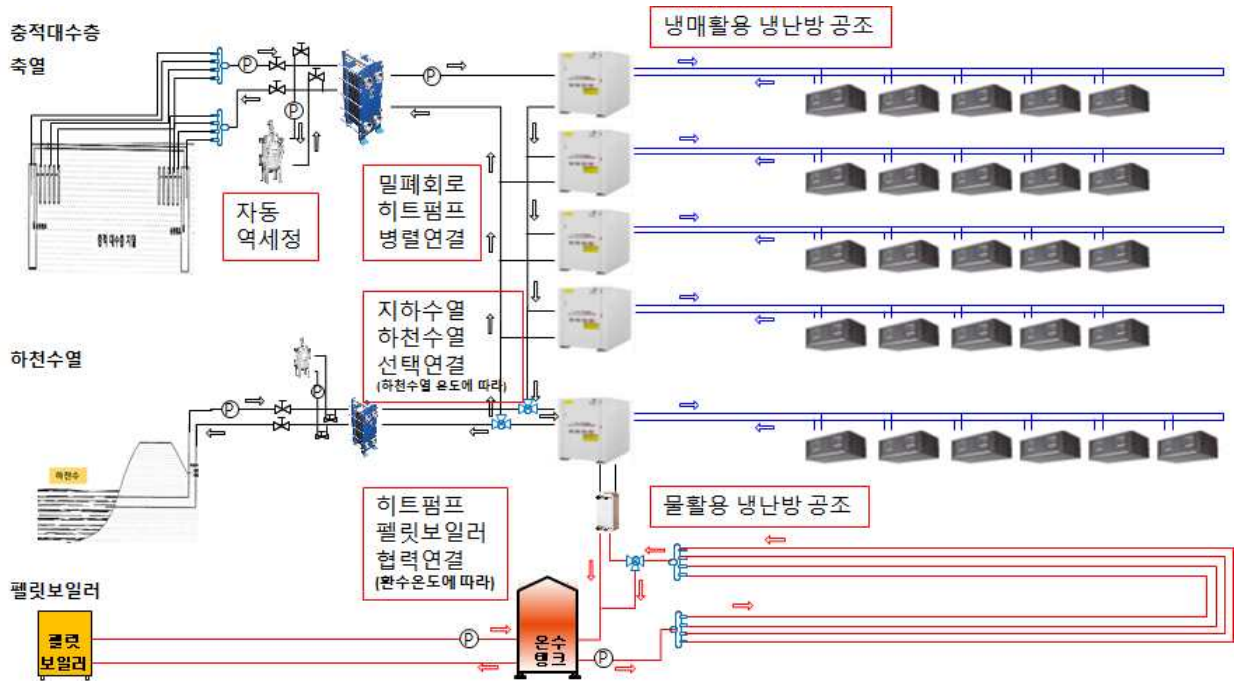


그림 2-5-4-2. 히트펌프 시스템 계통도

- 대수층 계간추열, 펠릿보일러 펠릿열, 하천수 수열을 활용하여 냉난방 에너지를 생산하여 온실에 공급하는 시스템을 구축하고 이 시스템의 효율을 향상하기 위한 제어 연구를 위해 그림 2-5-4-2.와 같이 설계하였고 구축하였음
- **(열원측 구축)** 충적대수층 지열, 하천수열, 펠릿보일러를 열원으로 하는 융복합 에너지 시스템 (아래 그림 2-5-4-3. 참고)
- 지열: 헤드부터 열교환기까지 배관, 제어밸브, 유량, 온도센서 설치
- 하천수열: 취수구부터 열교환기까지 여과세정장치, 배관, 제어밸브, 유량, 온도센서 설치

열원	열원측	전환측	부하측
지열			
하천수열			
펠릿보일러			

그림 2-5-4-3. 융복합 재생에너지 시스템 설치 결과

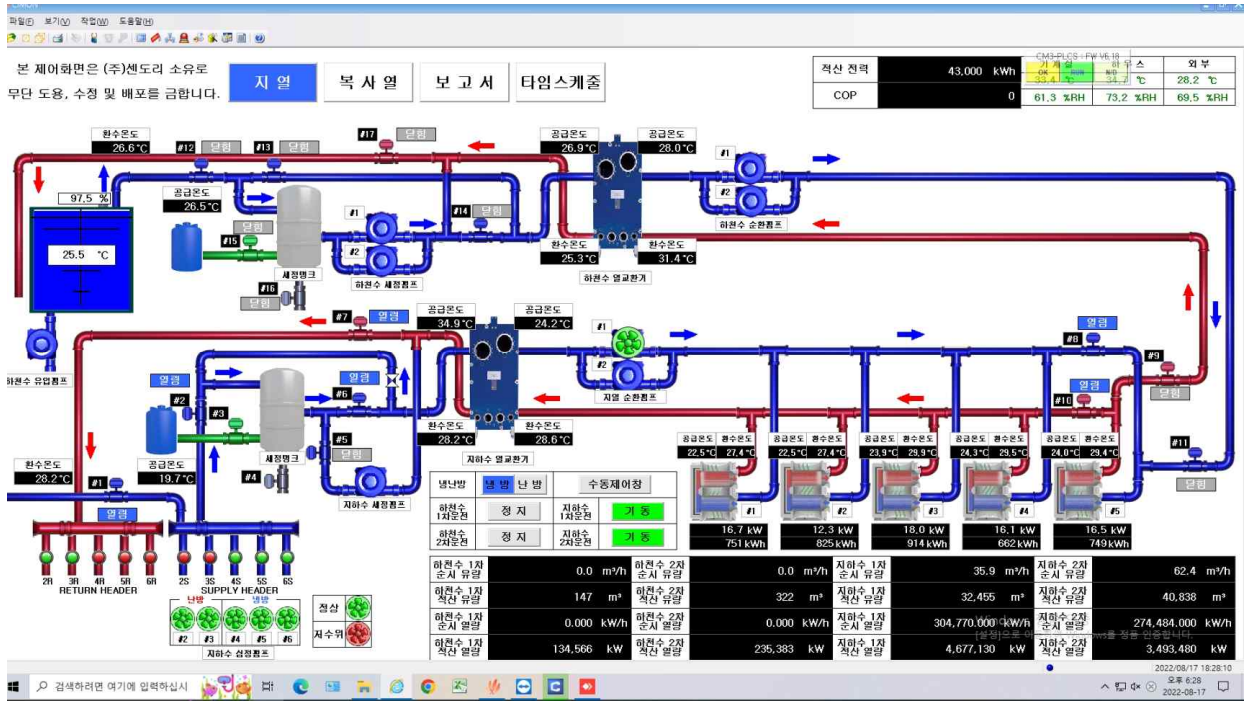


그림 2-5-4-4. 자동제어 시스템 구축 결과

- 펠릿보일러: 펠릿보일러부터 축열탱크까지 배관, 제어밸브, 온도센서 설치
- 하천수열 온도에 따라 총적대수층 지열과 하천수열 선택 사용하는 시스템
- 하천수 취수온도와 지열 취수온도 모니터링, 냉난방 운전에 따라 하천수열 활용 결정하여 운전
- 복사방열 부하측 환수온도에 따라 히트펌프와 펠릿보일러를 선택 사용하는 시스템
- 난방 중 환수온도에 따라 펠릿보일러를 선택하여 운전
- **(전환측 구축)** 전기에너지를 활용하여 냉난방 에너지를 만드는 히트펌프 시스템
- 히트펌프 시스템 소비전력을 낮추기 위한 최적 열원을 선택 사용하는 시스템
- 지열, 하천수열 : 열교환기부터 히트펌프까지 배관, 제어밸브, 유량, 온도센서 설치
- 펠릿보일러 : 축열탱크부터 부하헤더까지 배관, 제어밸브, 온도센서 설치
- 적용된 수열 히트펌프는 KS B 8294 (물-공기 지열원 멀티형 열펌프 유닛) 기준을 충족하는 신재생에너지 설비인 S社 AM300KXWAHH1 모델을 적용하였음
- 해당 히트펌프의 냉방능력은 73.56kW, 난방능력은 84.89kW로 듀얼 인버터 압축기를 사용하고 부하측 멀티연결이 가능한 설비이며, 인버터 부하연동 가변운전 (14Hz~160Hz)을 통해 넓은 온도범위에서 사용이 가능함

② 스마트 제어 시스템 구축 (그림 2-5-4-4. 참고)

- 온실 내외부 온습도를 모니터링하면서 사용자가 온실 내부 온도를 자동제어 하기 위한 목적으로 자동제어 시스템을 다음과 같은 개념으로 설계하였음
- **(대시보드)** 실시간 온실 내외부 온도/습도를 모니터링하여 표시
- 기계운전 현황으로 열원의 움직임, 펌프동작 여부, 히트펌프 여부, 밸브 개폐 여부, 집수정 수위 모니터링하여 표시
- 에너지 생산 현황을 관찰하기 위해 열원측 온도/유량, 히트펌프 순환 온도/유량, 히트펌프별 전력사용량 모니터링하여 표시
- 전력량 사용현황을 시스템 총 전력량과 히트펌프별 전력사용량으로 구분하여 모니터링 및 표시
- 실시간 COP 변화 표시





그림 2-5-4-5. 모래여과장치 및 하천수 취수구 설치

- **(디바이스 관제)** 온실내부 설비별 운영 그래픽 등
- 온실내부 냉난방위한 실내기(열교환기+송풍기) 운전 상태 표시
- 실내기별 현재온도, 희망온도 표시
- 실내기별 송풍강도 표시
- **(스케줄 제어)** 온실 백합 작물의 재배 온도에 따른 계절별 스케줄 제어
- 시간대별 운전온도, 운전시간, 반복일정 등 스케줄 제어
- 냉방운전, 난방운전 등 계절별 스케줄 설정하여 제어
- **(운영이력관리 및 리포트)** 지열, 복사열 별 운전현황 및 리포트
- 1시간별 1회 데이터 측정하여 일단위로 리포트
- 온도, 유량, 열량, 전력량, 온실 온도, 히트펌프별 전력량, COP 리포트
- **(스마트 원격제어)** 온실 실내기 원격제어
- 인터넷 환경에서 AnyDesk™을 통해 실증지 PC에 접근하여 제어

## (2) 여과세정장치 설치 및 운영 평가

### ① 여과세정장치 설치 (그림 2-5-4-5. 참고)

- 하천 및 하천수 (1차년도 선정)
- 하천 명칭과 분류: 우산천 / 소하천 (vs. 국가하천, 지방하천)
- 하천수 수온: 동절기 3~16 °C, 하절기 22~28 °C
- 하천 수질 분석 (2차년도 KS I 3003 기준 분석결과 ; 적합)
- 하천 취수구 모래여과장치 설계 및 구축
- 하천수 취수구 장기 신뢰성 확보를 위한 모래여과기 설치
- 하천수가 기존여과망을 통과하기 전 모래여과기(50 mesh)를 거쳐 통과함으로써 오염 예방

### ② 하천수 전처리(여과세정장치) 장치 설계 (그림 2-5-4-6. 참고)

- 하천 수열원으로부터 지속가능한 열회수를 위해 열원과 열교환기 사이에 수열원 전처리 장치를 설계하였음
- 수열원 전처리 장치 설계는 스트레이너를 활용한 종래 여과 방법을 활용하면서 열교환기를 세정할 때는 밸브조작을 통해 역세정이 가능하도록 구성하였음

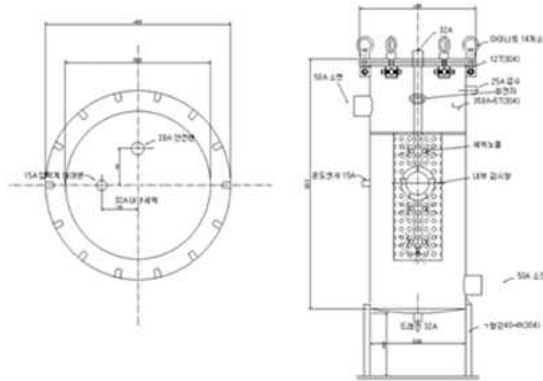
• 제작 사양

구분	단위	사양	비고
여과망	Mesh	50	미세 이물질 제거 (Mesh 변경가능)
처리용량	L	350	
내압특성	Kgf/cm <sup>2</sup>	10	

• 제작 결과



• 설계



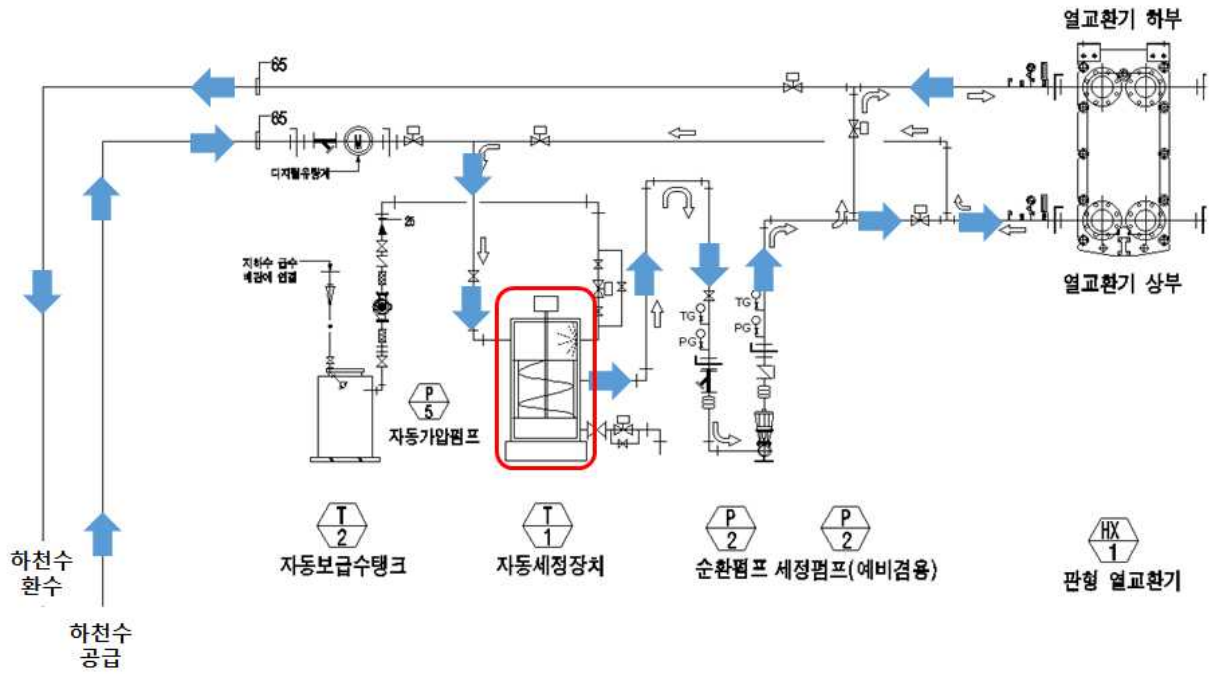
• 하천수열 라인 적용



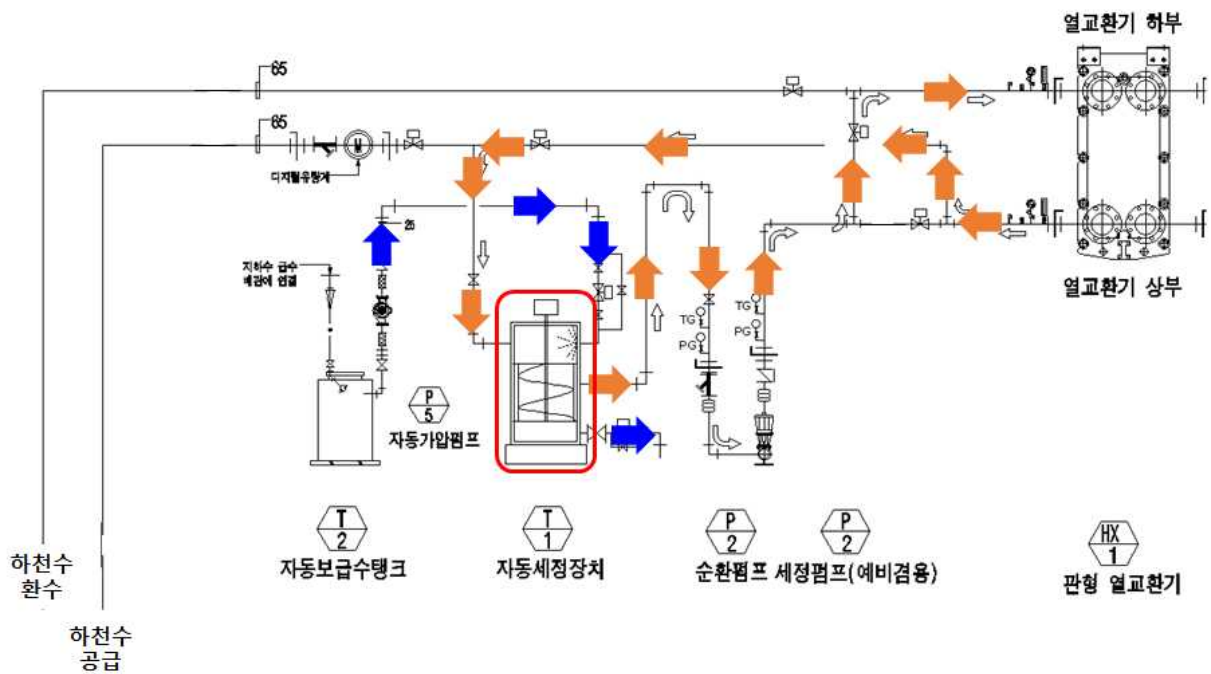
그림 2-5-4-6. 하천수 전처리 장치 설치: 모래여과장치

- 그림 2-5-4-6. 개념도와 같이 챔버 내에서 스트레이너와 동력장치를 활용하여 여과 및 역세정이 가능하도록 구성하였음
- 제작사양: 350 L 용량의 50 mesh 스테인리스스틸(SS) 재질 여과망
- 내압특성: 10 kg/cm<sup>2</sup>
- 기능: 열원 사용 중 여과장치, 열교환기 세정 중 역세정장치
- (열원 사용 중 여과)
- 하천수를 취수하여 순환펌프를 통해 하천수를 순환 배출할 때 열교환기 전단계에서 50 mesh 여과망으로 이뤄진 여과장치(자동세정장치)를 설치하여 300 μm 이상의 미세입자를 여과함
- **(열교환기 세정위한 역세정)**
- 자동보급수 탱크의 깨끗한 물을 활용하여 판형열교환기를 세정함
- 하천수 취수를 중단한 상태에서 밸브를 조작하여 열교환기로 물의 흐름을 역으로 조작한 뒤, 세정펌프를 활용하여 여과장치로 강하게 순환시킴으로써 열교환기 내 오염물질을 제거함 (그림 2-5-4-7. 참고)
- 이때 자동보급수탱크에 저장된 깨끗한 물을 순환 배출시켜 여과장치에 쌓인 오염물질을 제거 시킴
- 관련 효율을 증가시키기 위해 여과장치에 히터를 설치하여 물의 온도를 올려 순환시킬 수도 있음
- **(여과세정장치 운영평가)**
- 여과세정장치의 여과능력 평가를 위해 하천수가 여과장치를 통과하기 전과 후의 시료를 샘플링하여 관찰한 결과, 혼탁도가 육안으로 개선됨을 확인하였음
- 또한 해당 샘플에 대한 탁도를 분석한 결과 하천수 원수는 7.64 NTU(Nephelometric Turbidity Unit)를, 하천수 정수는 0.3 NTU로 분석되어 여과장치를 통한 여과 효과를 확인할 수 있었음 (아래 그림 2-5-4-8. 참고)





(가)



(나)

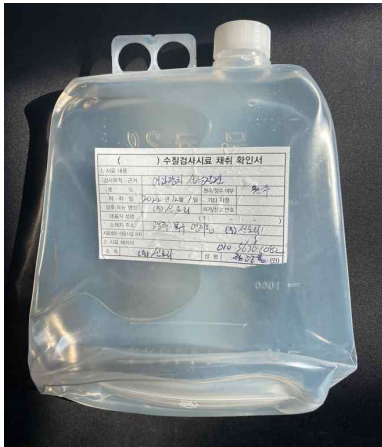
그림 2-5-4-7. 여과세정기 운전 개념도: (가) 열원 흐름 중 여과, (나) 열교환기 세정위한 역세정 흐름

**(3) 수열원 히트펌프 실증 운전 및 제어기술 고도화 (하우스 에너지 사용량 패턴 정의)**

① 수열원 히트펌프 실증 운전 (아래 그림 2-5-4-9. 참고)

- **(지열 히트펌프 실증 운전)**

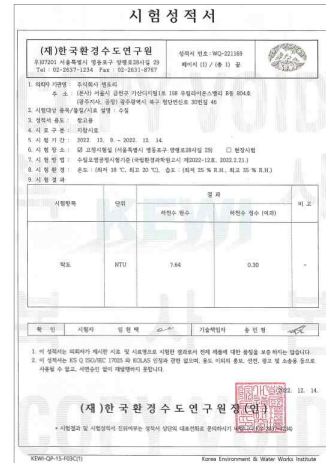
- 온실 내 설치된 26개의 실내기(냉매방식)에 대하여 냉난방 방식과 풍량, 풍향, 그리고 희망온도를 설정하여 운영하면 히트펌프 운전이 시작됨
- 히트펌프의 전원인가와 함께 지열 순환펌프와 각 지열공의 심정펌프가 가동하면서 열원이 순환함



(가)



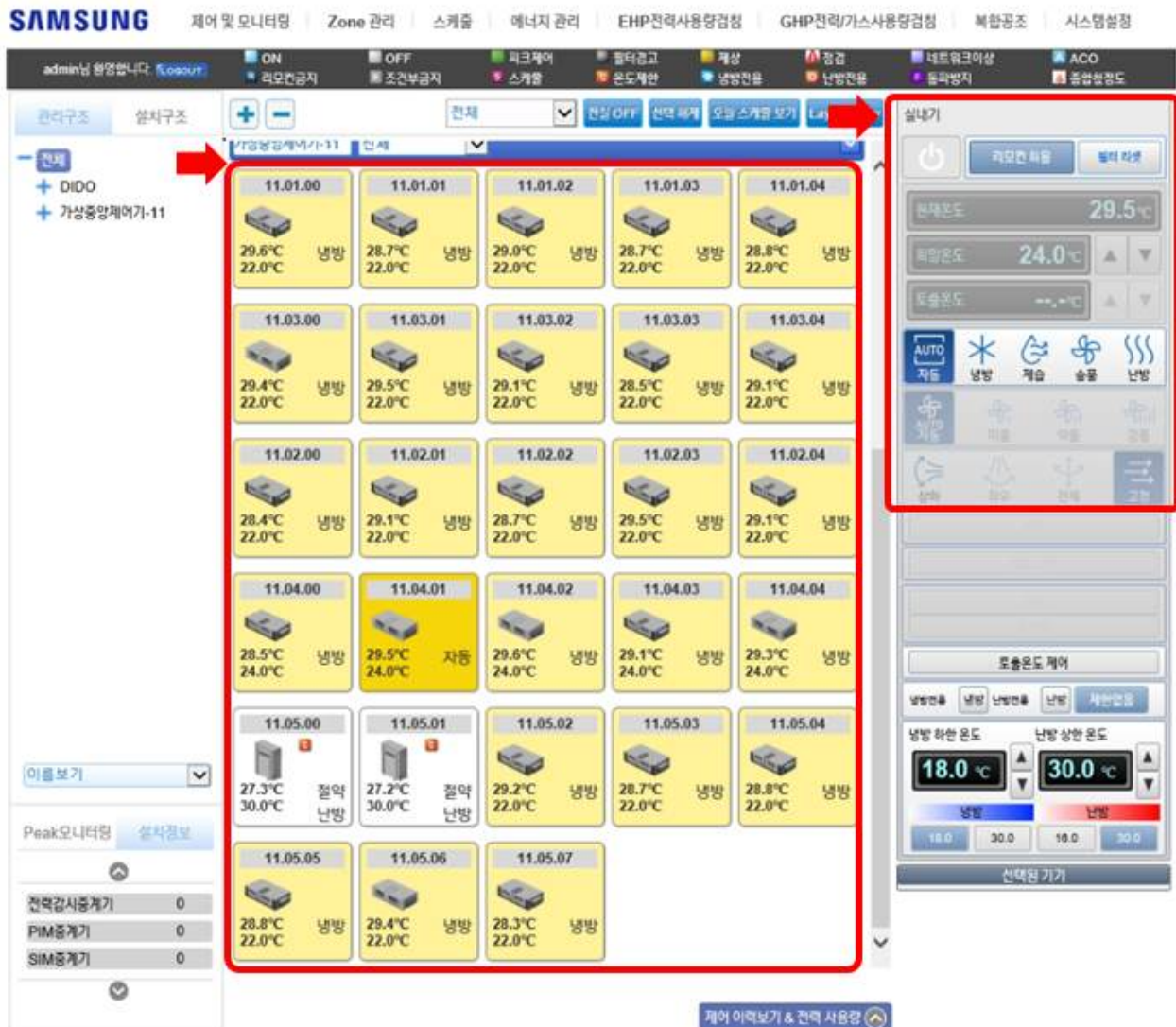
(나)



(다)

그림 2-5-4-8. 하천수 여과장치 통과 전과 후 시료를 샘플링 및 분석결과: (가) 여과장치 통과 전, (나) 여과장치 통과 후, (다) 탁도 분석결과

- 심정펌프는 공급 공으로부터 지하수가 열교환기까지 도달하여 환수 공까지 주입하는 동력을 제공하고 지열 순환펌프는 열교환기로부터 히트펌프까지 회수한 열원을 전달하는 동력을 제공



<온실 실내기 운전 제어화면>

그림 2-5-4-9. 온실 실내기 운전 제어화면

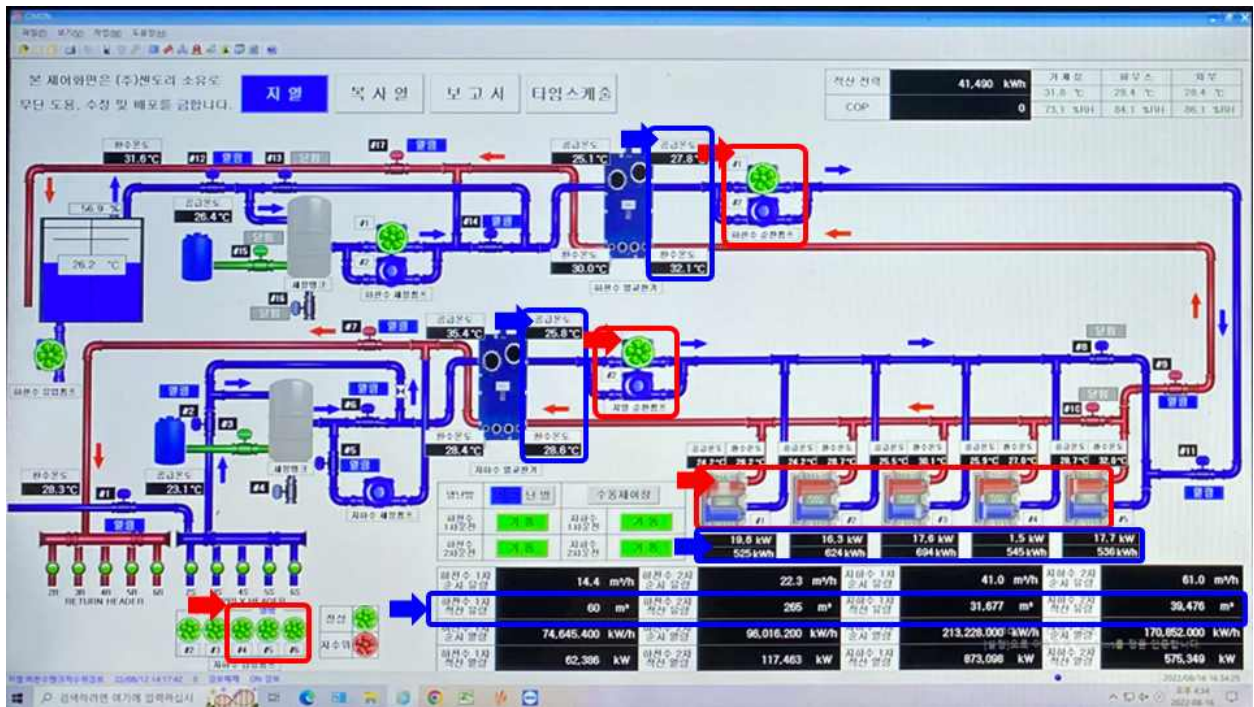


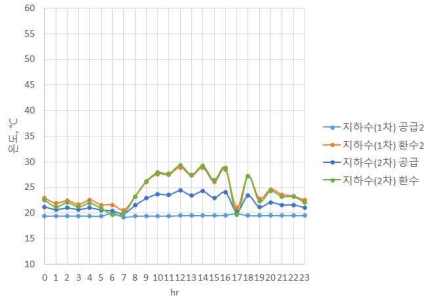
그림 2-5-4-10. 지열-하천수열 연계 히트펌프 운전 모니터링 및 제어 화면

- 히트펌프는 온실의 실내온도와 희망온도 차이를 판단하면서 압축기를 인버터 제어하면서 가동시키고 응축기를 통해 따뜻한 열을, 증발기를 통해 차가운 열을 온실에 제공할 수 있도록 내부 4 Way-밸브를 자동 조작하면서 제어함
- 실내온도와 희망온도 차가 크면 압축기는 출력을 증가시켜 많은 일을 하는데 이 때 지하수로부터 열을 흡수하면 압축기의 출력을 저감시킬 수 있어 에너지 소비효율을 향상시킬 수 있음
- **(지열-하천수열 연계 히트펌프 실증운전)**
- 하천수 1차 운전과 2차 운전을 기동시킨 상태에서 지열과 동일한 방법으로 온실 내 실내기를 운전시키면 히트펌프가 운전함
- 이때 지열용 히트펌프 4대(#1~4), 하천수열 히트펌프 1대(#5)가 가동하면 해당 신호에 따라 지열순환펌프/심정펌프, 하천수 순환펌프/세정펌프가 동작하여 해당배관을 통해 물이 순환하게 됨
- 지열과 마찬가지로 하천수열에서도 시스템 COP를 측정하기 위해 하천수로부터 회수한 열을 측정코자 해당 배관으로부터 온도와 유량을 측정하고 히트펌프의 소비전력을 측정할 수 있도록 시스템을 구성하였음
- **(수열원 히트펌프 실증 운전 모니터링)**
- 열회수 온도 모니터링: 열교환기를 기준으로 1차측(열원측) 공급온도와 환수온도를 측정하고 2차측(부하측) 공급온도와 환수온도를 모니터링 수행
- 유량 모니터링: 열교환기를 기준으로 1차측(열원측) 유량과 2차측(부하측) 유량을 측정하여 시간별 모니터링 수행
- 에너지 생산량 모니터링: 지열(+하천수열)에서 회수한 열량과 히트펌프에서 생산한 열량(난방은 더하고, 냉방은 빼고)을 고려하여 에너지 생산량을 시간별로 모니터링 함
- 시스템 총 소비전력 모니터링: 시스템에 적용된 모든 히트펌프, 펌프 등 소비전력을 시간별로 모니터링 수행
- 시스템 COP 모니터링: 생산된 에너지와 소비된 총 전력을 활용하여 시간별로 시스템 COP를 모니터링 수행 (그림 2-5-4-10. 참고)



● 2022년 08월 21일 완주군 실증지

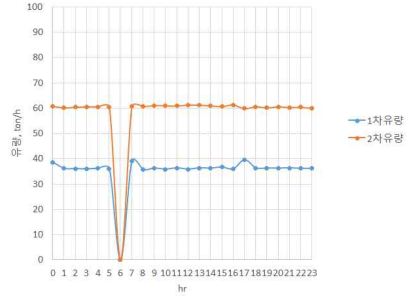
- 예약운전: 온실 Setting Temp. (주)23°C/(야)20°C, 2시간 운전 후 10~15분 정지 또는 설정온도 도달시 정지  
 - 외기온도: 23.1 ~ 35.9°C (평균 28.9°C) / 온실온도: 20.5~32.4(평균 24.2°C)



(가)

● 2022년 08월 21일 완주군 실증지

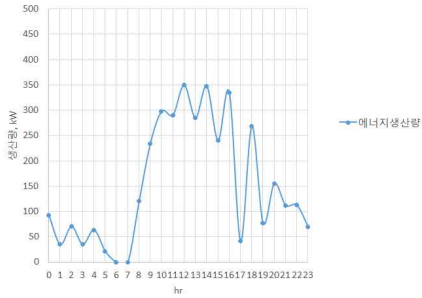
- 예약운전: 온실 Setting Temp. (주)23°C/(야)20°C, 2시간 운전 후 10~15분 정지 또는 설정온도 도달시 정지  
 - 외기온도: 23.1 ~ 35.9°C (평균 28.9°C) / 온실온도: 20.5~32.4(평균 24.2°C)



(나)

● 2022년 08월 21일 완주군 실증지

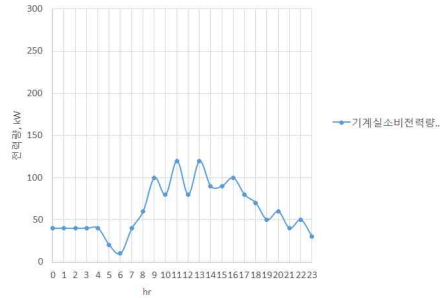
- 예약운전: 온실 Setting Temp. (주)23°C/(야)20°C, 2시간 운전 후 10~15분 정지 또는 설정온도 도달시 정지  
 - 외기온도: 23.1 ~ 35.9°C (평균 28.9°C) / 온실온도: 20.5~32.4(평균 24.2°C)



(다)

● 2022년 08월 21일 완주군 실증지

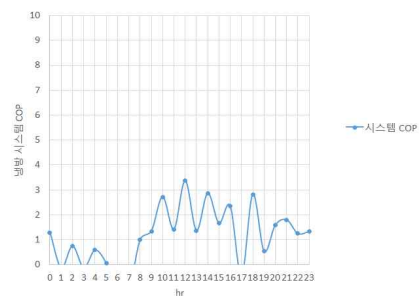
- 예약운전: 온실 Setting Temp. (주)23°C/(야)20°C, 2시간 운전 후 10~15분 정지 또는 설정온도 도달시 정지  
 - 외기온도: 23.1 ~ 35.9°C (평균 28.9°C) / 온실온도: 20.5~32.4(평균 24.2°C)



(라)

● 2022년 08월 21일 완주군 실증지

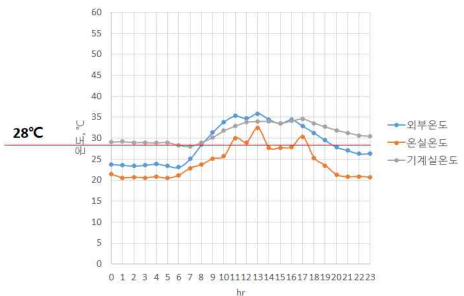
- 예약운전: 온실 Setting Temp. (주)23°C/(야)20°C, 2시간 운전 후 10~15분 정지 또는 설정온도 도달시 정지  
 - 외기온도: 23.1 ~ 35.9°C (평균 28.9°C) / 온실온도: 20.5~32.4(평균 24.2°C)



(마)

● 2022년 08월 21일 완주군 실증지

- 예약운전: 온실 Setting Temp. (주)23°C/(야)20°C, 2시간 운전 후 10~15분 정지 또는 설정온도 도달시 정지  
 - 외기온도: 23.1 ~ 35.9°C (평균 28.9°C) / 온실온도: 20.5~32.4(평균 24.2°C)



(바)

그림 2-5-4-11. 수열원 히트펌프 실증 운전 모니터링 결과: (가) 지하수 열원 열회수 온도 모니터링, (나) 지하수 열원 유량 모니터링, (다) 에너지 생산량 모니터링, (라) 시스템 총 소비전력 모니터링, (마) 시스템 COP 모니터링, (바) 온실 내, 외부 온도 및 기계실 온도 모니터링

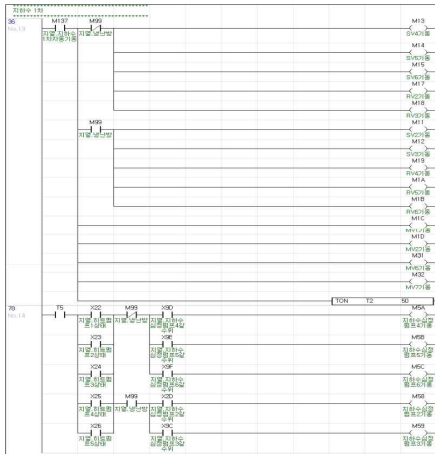
- 온실 내부, 외부 및 기계실 온도 모니터링: 외부온도대비 시스템 운전에 따른 내부온도변화를 모니터링 할 수 있도록 센서를 설치하였음 (그림 2-5-4-11. 참고)

② 제어기술 고도화 (아래 그림 2-5-4-12. 참고)

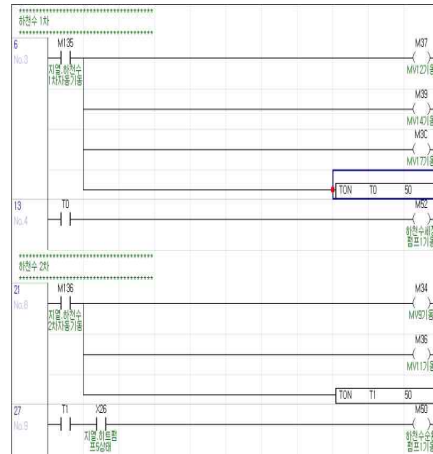
- (시스템 제어)

- 시스템 제어는 시퀀스 제어로써 Programmable Logic Controller(PLC) 방식으로 CIMONTM라는 소프트웨어를 통해 제어회로를 프로그래밍하였음
- 시스템을 제어하기 위한 컨트롤 박스를 기계실에 구축하였고 실내기 On/Off에 따라 시스템이 운전될 수 있도록 로직을 구성하였음
- 기계실 내 모니터링 화면을 구축하였고 화면 내 활성화된 아이콘을 클릭하여 제어할 수 있도록 하였음

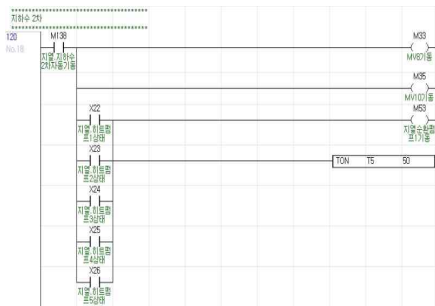




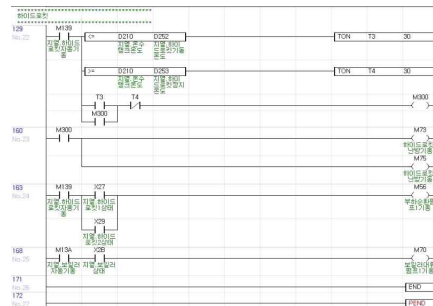
(가)



(나)



(다)



(라)

그림 2-5-4-12. 제어기술 고도화: (가) 지하수 1차 펌프 및 밸브 제어로직, (나) 지하수 열원 유량 모니터링, (다) 지하수 2차 펌프 및 밸브 제어로직, (라) 복사열 난방 펌프 및 밸브 제어로직

- 제어 컴퓨터를 인터넷에 연결하여 외부에서도 제어할 수 있도록 구축하였음
- **(제어 고도화)**
- 자동제어: 사용자가 실내기 On/Off를 실시하면 히트펌프가 가동되고 융복합 열원 중 지열을 우선 적용하도록 로직을 설계하여 적용하였음
- 난방 피크제어: 히트펌프 만으로 충분히 난방되지 않을 때 펠릿보일러를 활용하여 난방 피크부하를 감당할 수 있도록 하였고, 이의 동작은 수동조작을 통해 이뤄지도록 하였음
- 냉방 피크제어: 지열만으로 충분히 냉방되지 않을 때 하천수를 활용하여 냉방 피크부하를 감당할 수 있도록 설계 및 구축하였으나, 실증지 우산천은 소하천으로 여름철 지하수 온도보다 차감지 않아 실질적으로 냉방 피크부하를 감당하지 못했음
- 오히려 지열 공급 공에서 유량이 충분치 않거나 지열 온도가 비정상적인 비상 상태를 대비해서 하천수를 공급할 수 있도록 구축하였고 이의 동작은 수동조작을 통해 이뤄지도록 하였음

#### (4) 에너지 사용에 대한 최적운전 제안 및 모니터링

##### ① 에너지 사용 정의

##### - (작물 온도관리 모형)

- 작물은 해가 뜨면서 광합성을 시작하지만 온실 내 온도는 광합성에 충분한 정도의 온도가 안 되기 때문에 이때 1~2시간 정도 예비가온을 하고, 광선이 충분하면 광합성을 최대한 높일 수 있도록 적정 수준으로 유지할 필요가 있음

표 2-5-4-1. 작물 온도관리 모형 (전북 완주 백합농장주 온도관리 경험 참고)

작물		08~17시	17~22시	22~08시
백합	하계	28 ℃	20 ℃	20 ℃
	동계	자연난방 온실운영	16 ℃	16 ℃
비고		광합성 촉진 온도	전류 촉진 온도	호흡억제 온도

- 해가 진 4~6시간 정도는 동화산물의 전류를 촉진시킬 수 있도록 약간 높은 온도를 유지하고 전류가 끝난 후부터 호흡에 의한 소모를 줄일 수 있도록 작물 생육에 지장이 없는 정도의 낮은 온도로 관리가 필요함
- 주야간 변온관리 방식을 작물과 기상조건에 따라 응용하는 것이 바람직하며 합리적인 변온관리로 작물의 수량과 품질을 향상시키면서 냉난방비를 절감하는 솔루션을 제안하는 것이 목적인데 이는 1년이상 장기 운전을 통해 최적화하는 시간이 필요함
- 이에 우선 전북 완주 백합농장주의 온도관리 경험에 따라, 백합 생육조건을 기준으로 표 2-5-4-1.과 같이 온실 온도관리를 실시하였음

② 온실 온도관리 모니터링

- (여름철 온실 온도관리)

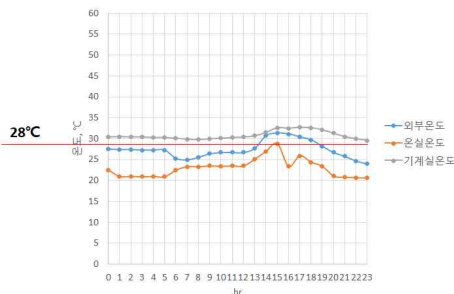
- 여름철 야간 20 ℃, 주간 28 ℃ 수준으로 온실 내부 온도를 관리하기 위해 시스템을 운전하였음 (아래 그림 2-5-4-13. 참고)
- 이때 온실 상태는 주간엔 차광막을 설치한 상태에서 진행하였고 실내기 설정온도는 야간 20 ℃, 주간 23 ℃하여 운전하였음
- 야간 온도는 태양으로부터 복사열이 전달되지 않아 주간에 비해 온도관리가 용이하였으나, 주간에는 온실로 전달되는 태양의 복사열로 인해 온도관리가 어려웠음
- 외기온도 33 ℃ 이상이 되면 온실 차광막을 설치 운영해야만 온도관리가 가능하였음

- (겨울철 온실 온도관리)

- 겨울철 야간 16℃, 주간엔 별도 온도관리 없이 온실 내부 온도를 관리하기 위해 시스템을 운전하였음 (아래 그림 2-5-4-14. 참고)
- 온실의 단열상태가 양호하여 야간 온도는 설정 온도에 부합하게 잘 관리되었고, 주간 온도는 외기 온도보다 높게 자연관리 되었음

● 2022년 08월 20일 완주군 실증지

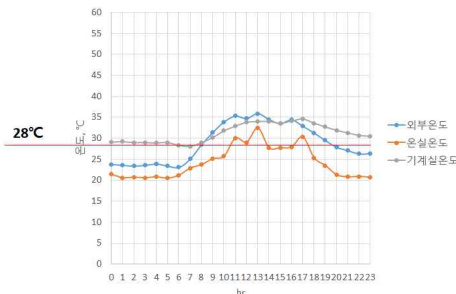
-.. 예약운전 : 온실 Setting Temp. (주)23℃(야)20℃, 2시간 운전 후 10\*15분 정지 또는 설정온도 도달시 정지  
 -. 외기온도 : 24 ~ 31.3℃ (평균 27.4℃) / 온실온도 : 20.6~28.8(평균 23℃)



(가)

● 2022년 08월 21일 완주군 실증지

-.. 예약운전 : 온실 Setting Temp. (주)23℃(야)20℃, 2시간 운전 후 10\*15분 정지 또는 설정온도 도달시 정지  
 -. 외기온도 : 23.1 ~ 35.9℃ (평균 28.9℃) / 온실온도 : 20.5~32.4(평균 24.2℃)



(나)

그림 2-5-4-13. 하계 온실 내외부 온도 측정결과(전북 완주 실증온실): (가) 2022년08월20일, (나) 2022년08월21일



(가)



(나)



(다)



(라)

그림 2-5-4-14. 동계 온실 내외부 온도 측정결과(전북 완주 실증온실): (가) 2022년11월25일, (나) 2022년11월27일, (다) 2022년12월01일, (라) 2022년12월05일

### (5) 수열원 히트펌프 시스템 자동운전제어 고도화 (사후관리 지원방안 제시)

#### ① 시스템 원격 운전제어

- 시스템 자동제어는 CIMONTM을 활용하여 운전 시퀀스에 따라 각 설비의 On/Off를 제어할 수 있도록 했고 원격으로 제어하기 위해 AnyDeskTM를 활용하였음
- 완주 실증지 PC가 인터넷 접근이 가능하면 AnyDesk를 통해 해당 PC로 접근하여 CIMON 프로그램과 온실 실내기 운영프로그램을 제어할 수 있음

#### ② 사후관리 방안

##### - (시스템 관리)

- 온라인 관리: 앞서 AnyDesk를 통한 원격관리가 가능하도록 구축했고 농장주가 해당 온실의 냉난방 제어 활동을 수행하다가 미숙한 부분이 발생하면 이를 원격으로 지원할 수 있음
- 오프라인 관리: 기계나 설비 이상으로 온라인 관리가 어려울 경우 직접 현장에 출동하여 문제 및 원인 파악 후 설비 수리가 가능하도록 하였고, 과제기간 내 개발자를 통한 사후관리, 과제기간 후 (주)센도리 서비스 팀을 통한 사후관리가 가능하도록 구축하였음

##### - (시스템 데이터 백업)

- 계절에 따라 총적대수총 축열한 열량이 최적 활용될 수 있도록 수년의 장기간에 걸쳐 시스템 운영 데이터를 추적할 수 있도록 1차 실증지 PC에 측정결과를 저장할 수 있도록 구축하였음

##### - (하천수 사용허가 관리)

- 하천 및 하천수 점용 관리책임 (표 2-5-4-2. 참고)
- 과제기간 중: (주)센도리, 과제종료 후: 청운플라워

표 2-5-4-2. 하천수 사용허가 관리

구 분	2021년			2022년	2023년	2024년	2025년
	~06월	~09월	~12월				
(주)센도리							
청운flower (실증온실)							

③ 시스템 운전 설명서 및 사후관리

- (시스템 운전 설명서)

- 자동조작, 수동조작, 예약작업에 관한 시스템 운전 설명서를 아래 그림과 같이 작성하여 사용자 측에 제공하였음

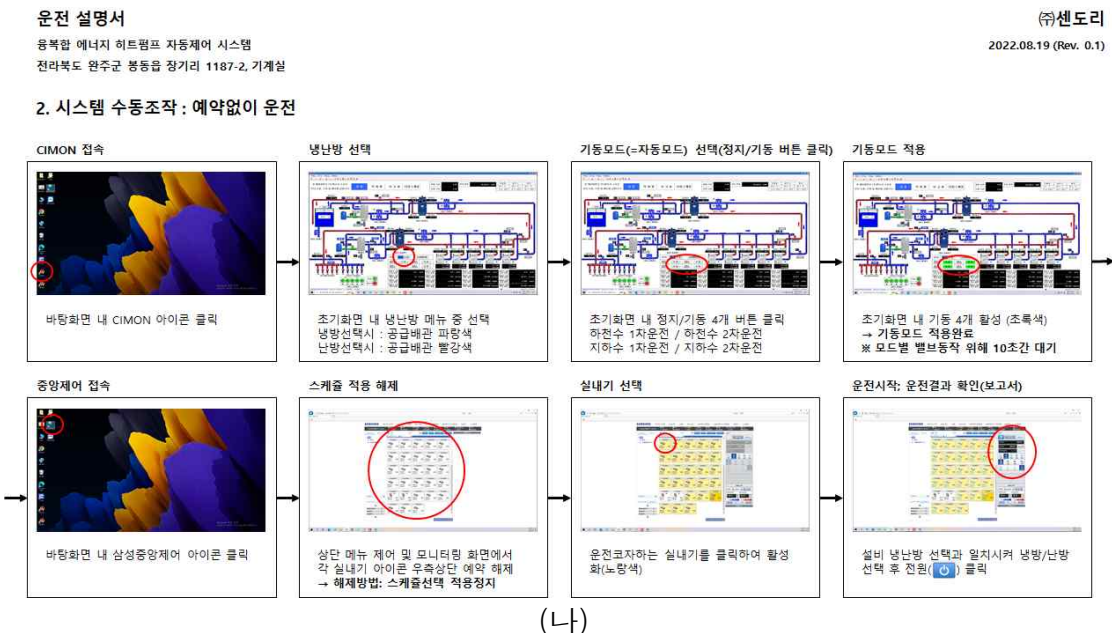
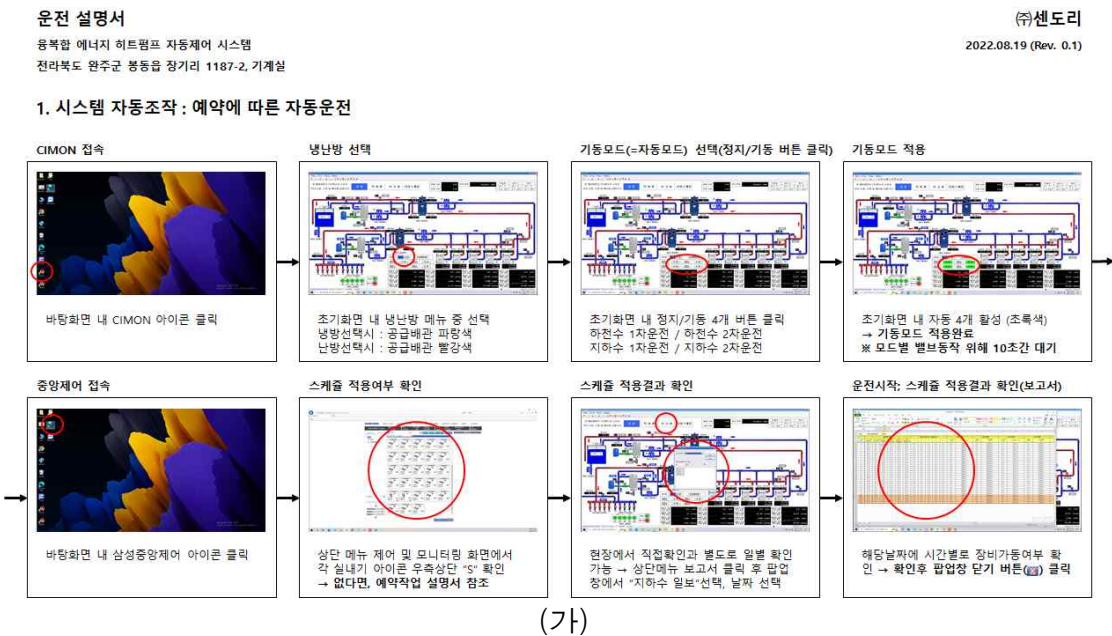
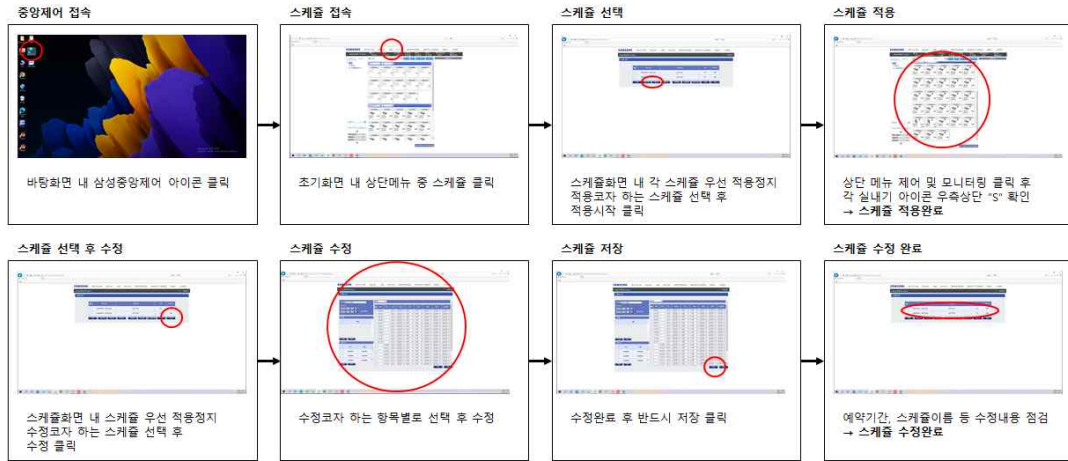


그림 2-5-4-15. 사용자에게 제공한 시스템 운전 설명서: (가) 자동 운전 조건, (나) 수동 운전 조건, (다) 예약 운전



3. 예약(스케줄)작업 및 예약내용 수정



(다)

그림 2-5-4-15. 사용자에게 제공한 시스템 운전 설명서: (가) 자동 운전 조건, (나) 수동 운전 조건, (다) 예약 운전

- (시스템 운전 교육)

- 시스템 매뉴얼 제공과 함께 시스템 운전 교육을 2022년 3월과 11월 각 2차례 실시하였음
- 사용자 운전 중 애로사항 발생 시 실시간 대응 지원(교육 포함)하였고, 현재 사용자께서 직접 운전하여 운용 중임

- (시스템 사후관리)

- 사용자께서 시스템이 설치된 기계실에 직접 인터넷망을 설치하여 온라인 연결을 통한 사후관리 대응 체계를 구축하였음
- 시스템 운전 중 신속한 고장 위치 파악과 진단 그리고 후속 조치를 위해 시스템 구성품의 주소를 지정하였음

■ 히트펌프(5대) 및 실내기(26대) 주소

시스템주소					실내기					
#3	11.01.00	11.01.01	11.01.02	11.01.03	#1	11.01.00	11.01.01	11.01.02	11.01.03	
	20.0°C 난방	19.2°C 난방	18.7°C 난방	18.6°C 난방		19.5°C 난방	19.0°C 난방	18.0°C 난방	18.0°C 난방	18.0°C 난방
	11.03.00	11.03.01	11.03.02	11.03.03		11.03.04	18.0°C 난방	18.1°C 난방	17.8°C 난방	17.4°C 난방
	16.0°C 난방	16.0°C 난방	16.0°C 난방	16.0°C 난방		16.3°C 난방	16.0°C 난방	16.0°C 난방	16.0°C 난방	16.0°C 난방
	11.02.00	11.02.01	11.02.02	11.02.03		11.02.04	18.5°C 난방	19.7°C 난방	19.4°C 난방	18.6°C 난방
16.0°C 난방	16.0°C 난방	16.0°C 난방	16.0°C 난방	16.0°C 난방	19.0°C 난방	19.4°C 난방	19.4°C 난방	19.2°C 난방		
#4	11.04.00	11.04.01	11.04.02	11.04.03	11.04.04	19.5°C 난방	19.4°C 난방	19.3°C 난방	19.4°C 난방	
16.0°C 난방	16.0°C 난방	16.0°C 난방	16.0°C 난방	16.0°C 난방	16.0°C 난방	16.0°C 난방	16.0°C 난방	16.0°C 난방	16.0°C 난방	
#5	11.05.00	11.05.01	11.05.02	11.05.03	11.05.04	48.0°C 결빙	43.0°C 결빙	15.1°C 난방	15.0°C 난방	
50.0°C 난방	50.0°C 난방	16.0°C 난방	16.0°C 난방	16.0°C 난방	15.0°C 난방	15.0°C 난방	16.0°C 난방	16.0°C 난방	16.0°C 난방	
11.05.05	11.05.06	11.05.07								
14.7°C 난방	30.8°C 난방	28.5°C 난방								
16.0°C 난방	16.0°C 난방	16.0°C 난방								
					부전함					
					히트펌프					
					#1 #2 #3 #4 #5					

히트펌프	실내기	시스템 주소	히트펌프	실내기	시스템 주소
#3	1-1	11.01.00	#1	2-1	11.02.00
	1-2	11.01.01		2-2	11.02.01
	1-3	11.01.02		2-3	11.02.02
	1-4	11.01.03		2-4	11.02.03
	1-5	11.01.04		2-5	11.02.04
#2	3-1	11.03.00	#4	4-1	11.04.00
	3-2	11.03.01		4-2	11.04.01
	3-3	11.03.02		4-3	11.04.02
	3-4	11.03.03		4-4	11.04.03
	3-5	11.03.04		4-5	11.04.04
#5	5-1	11.05.02			
	5-2	11.05.03			
	5-3	11.05.04			
	5-4	11.05.05			
	5-5	11.05.06			
	5-6	11.05.07			
	EHS 1	11.05.00			
EHS 2	11.05.01				

그림 2-5-4-16. 사용자에게 제공한 시스템 구성품(히트펌프 및 실내기) 주소

표 2-5-4-3. 온실 냉난방 기존 방법에 따른 경제성 분석

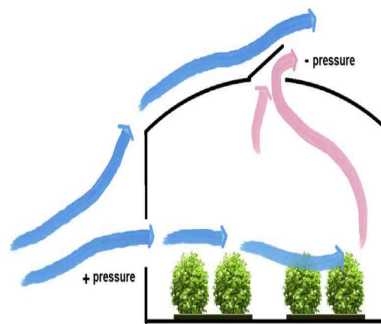
구분	단위	온실
온실 면적		1,570
설비용량	차광 시스템	Shading, Black out, Thermal
	Fog 시스템	2 lpm, 상대습도 90% 타겟
	팬 시스템	3,300 cmh × 7
건축	온실	175,028,000
	단위면적당 건축비	111,483
설비	차광 시스템	46,183,000
	Fog 시스템	18,347,000
	팬 시스템	16,987,000
	전기설비	8,864,000
	(소계)	90,381,000
	단위면적당 구축비	57,567

(6) 분야별 공통기능 표준화 및 비즈니스 솔루션 도출

- ① 온실 냉난방 기존 방법에 따른 경제성 분석 (표 2-5-4-3. 참고)
  - 온실 냉난방 Passive(건축적) 방법에 관한 경제성 분석  
(참고문헌: 류성웅, 박두용, 스마트팜 냉방기술에 따른 경제성 분석, KIEAE Journal, vol. 21, no.5, Oct. 2021, pp. 55~65)
  - 종류: 차광스크린, 자연환기, 증발냉각 (그림 2-5-4-17. 참고)
  - 온도범위: 외기온도보다 1~3 °C
  - 특징: 외기온도에 따라 온실내부 온도변화
  - 재배작물: 제한적 (연중 최고온도: 37~40 °C, 최저온도: -10~-5 °C)
- ② 온실 냉난방 Active(설비적) 방법에 관한 경제성 분석
  - (참고문헌: 냉동공조저널, 기사제목: 전기구동형 히트펌프, 유리온실 냉방설비 중 초기 투자비 가장높아, 2022.05.16.)
  - 종류: 히터펌프, 축열조, 공조설비
  - 온도범위: 10~30 °C
  - 특징: 온도제어 정확, 신속함
  - 재배작물: 거의 모든 작물 재배 가능



(가)



(나)



(다)

그림 2-5-4-17. 온실 냉난방 기존 방법 종류: (가) 차광스크린, (나) 자연환기, (다) 증발냉각 (Fog 방식)

표 2-5-4-4. 온실 냉난방 기존 방법에 따른 경제성 분석

구분		단위	지열냉난방 시스템	개발 시스템	비고
(스마트팜) 온실 면적		m <sup>2</sup>	9,570	3,300	1-2W, 5연동
설비 용량	지중 열교환기	공	9 (수직개발, φ250)	6 (개발형)	
	수중 모터펌프	대	9 (3.4 kW)	6	
	태양광 집열기	대	-		
	증기터빈	대	-		
	히트펌프	대	12 (61 kW)	5 (70 kW)	
	실내기	대	72 (12 kW)	26 (13 kW)	
초기 투자비	지열공사비	원	121,410,000	120,000,000	
	펠릿보일러	원	-	10,000,000	
	히트펌프	원	339,906,000	120,000,000	
	펌프 및 배관	원	442,970,000	150,000,000	
	수전설비	원	146,560,000	40,000,000	
	(소계)	원			
	단위면적당 초기투자비	원/m <sup>2</sup>	109,806	133,333	
연간 운영비	난방요금	원	12,632,400	8,334,990	개발시스템; 운영 중 최적화 과정, 과부하 시험 등에 따른 추가비용 포함
	냉방요금	원	10,335,600	3,166,010	
	(소계)	원		11,501,000	
	단위면적당 초기투자비	원/m <sup>2</sup>	2,400	3,485	

③ 개발 시스템과 기존 지열 냉난방 시설 간 비교 (경제성 분석)

- 지열냉난방시설 대비 개발기술 경제성 분석  
(참고문헌: 충청남도농업기술원, 원예작물 지열냉난방시설 경제성 분석, 발간등록번호: 74-6440044-000059-01, 2018.12월)
- 종류 : 열원(지열, 태양열) / 히트펌프 / 축열조 / 공조설비
- 온도범위: 10~30 ℃
- 특징: 온도제어 정확, 신속함
- 재배작물: 거의 모든 작물 재배 가능
- 공기열 히트펌프 시스템 대비 지열 시스템의 초기 투자비용은 30~60%상대적으로 높지만 연간운영비용은 50% 수준으로 낮기 때문에 2~3ha 이상의 온실을 구축하여 운영함에 있어 지열시스템은 효과가 있을 것으로 기대됨
- 특히 개발시스템의 초기투자비는 지열시스템보다 30%정도 높지만 사업화를 위한 원가 절감 작업을 진행한다면 동일수준 또는 그보다 낮을 것으로 기대됨
- 무엇보다 효과가 클 것으로 기대하는 연간운영비에서 개발 간 최적화 시험, 과부하 시험 등 운영 중 테스트했던 기간에 따른 비용이 추가된 관계로 상대적으로 높게 측정되었지만 차년도부터 안정적으로 운영한다면 연간운영비는 지열시스템의 70%수준으로 떨어질 것으로 기대하고 있음 (아래 표 2-5-4-4. 참고)

④ 비즈니스 솔루션 도출

- **(시장 현황; 농가소득 향상을 통한 농촌 소멸 위협 해소)**
- 농업생산액 2001년 32조 원에서 2012년 44조 원으로 급성장했으나, 2012년부터 2016년까지는 44조 원으로 정체, 호당 평균 농업소득은 2001년부터 2015년까지 1,130만 원으로 15년간 정체, 농가인구는 2000년 400만 명에서 2015년 260만 명으로 대폭 감소
- 농촌인구 연간 2.5% 이상 지속적 감소로 농촌인구 중 65세 이상 고령인구 비율이 26년 50% 근접할 것으로 예상되고, 농업경영비에 의해 농업용 부채가 지속적으로 증가하는데 이 중 에너지 관련 비용이 25% 이상 점유하고 있음

- 2000년 이후 농업경제성 하락으로 시설원에 재배면적이 지속적으로 감소하고 있는데 2000년 90,627 ha에서 2015년 61,300 ha 점유하고 있음
- 또한 시설원에 가온 온실 비율 약 35%로 대부분 온풍난방을 사용하는데 주로 고가의 등유 및 경유를 사용하고 있어서 농가 수익 안정화 및 온실가스 배출저감 측면에서 난방에너지 연료의 전환이 절실한 상태임
- **(시장 변화; 농가소득 향상을 위한 스마트팜 시설 확대 트렌드)**
- 스마트팜 시설의 농가 보급: 농축산 산업 인구의 고령화, 젊은층의 영농승계 인력난, 생산면적 감소, 투자위축 등에 따른 소득, 수출, 성장률 정체 등 지속가능성 위기에 처한 농가문제 해결안 지속 확보 필요
- 스마트팜 시설의 높은 외산 의존도 해소
- 초기 설치비용의 부담 해소
- 난방: 보온력과 난방열(보일러 등)을 활용해 추운기간에도 많은 수확량을 이룰 수 있게 되고, 국내 기후여건 상 재배가 불가능했던 작목도 키울 수 있게 됨 → 가온재배면적 지속 확대
- 냉방: 지구 온난화와 함께 한반도 아열대기후로 변해가는 가운데 농가에서는 더운 기간에도 영농활동을 수행할 수 있도록 냉방에 대한 요구가 커지고 있는데 특히 토마토, 파프리카, 호접란 등을 재배하는 농가 중심으로 수요가 큼
- 신재생에너지 연계형 스마트팜 냉난방 기술 확보
- 전기료 지속 인상 대응
- 난방 에너지원 유류 80.5%, 신재생에너지 1.5%, 연탄 및 펠릿 등 고체연료 8.6%로 에너지원의 다원화 필요
- 냉난방이 되는 히트펌프 보급이 늘어남에 따라 신재생에너지원과 연계한 히트펌프 시스템 연구가 활발함
- **(스마트팜 핵심시설; 농가소득 향상을 위한 온실 냉난방 중요성)**
- 작물 생육가능 온도는 최저 한계온도, 생육적온, 최고 한계온도로 구분
- 작물은 적온에서 생육이 가장 잘 자라고 주간보다는 야간온도를 낮추어 주는 것이 생육에 유리함 (아래 표 2-5-4-5. 참고)
- 한계온도까지는 생육 가능하지만 적온에서 멀어질수록 생육이 둔화되며, 적온 범위 밖에 장기간 놓이면 심한 생육 억제 현상이 나타남
- 한계온도를 벗어나면 여러 가지 형태의 저온 또는 고온 장애가 발생함
- 지온도 생육에 큰 영향을 주는데 30 °C 이상이 되면 근모의 발생이 억제되고 뿌리의 호흡이 왕성해져 동화 산물의 소모가 많아지고, 지온이 너무 낮으면 신장과 활성이 떨어지고 토양 미생물 활동이 억제되어 양분과 수분 흡수가 억제됨 (표 2-5-4-6. 참고)

표 2-5-4-5. 작물의 생육적온과 한계온도 (단위: °C)

작물		최저 한계온도	생육적온	밤 온도	최고 한계온도
장미과	딸기	5	18~23	10~13	30
가지과	토마토	5	20~25	8~13	35
박과	수박	10	23~28	13~18	
	온실 멜론	15	25~30	18~23	
	오이	8	23~28	10~15	



표 2-5-4-6. 작물의 생육지온과 한계지온 (단위: °C)

작물		최저 한계온도	생육지온	최고 한계온도
장미과	딸기	13	15~18	25
가지과	토마토			
박과	수박		18~20	
	온실 멜론			
	오이			

- **(작물 온도관리 모형)**

- 작물은 해가 뜨면서 광합성을 시작하지만 시설 내의 온도는 광합성에 충분한 정도의 온도가 안 되기 때문에 이때 1~2시간 정도 예비가온을 하고, 광선이 충분하면 광합성을 최대한 높일 수 있도록 적정 수준으로 유지할 필요가 있음
- 해가 진 4~6시간 정도는 동화산물의 전류를 촉진시킬 수 있도록 약간 높은 온도를 유지하고 전류가 끝난 후부터 호흡에 의한 소모를 줄일 수 있도록 작물 생육에 지장이 없는 정도의 낮은 온도로 관리가 필요함
- 주야간 변온관리방식을 작물과 기상조건에 따라 응용하는 것이 바람직하며 합리적인 변온관리로 작물의 수량과 품질을 향상시키면서 냉난방비를 절감하는 기술개발 필요함 (아래 표 2-5-4-7. 참고)

- **(농업에너지 자립형 모델; 고효율 수열 히트펌프 시스템)**

- 공기열 히트펌프 시스템은 쉽게 얻을 수 있는 열원특성 때문에 많은 지역에 사용되고 있으나 혹한기와 같은 기온차변화가 심한 지역에는 다소 무리(시스템 성능계수가 현격히 감소함)가 있음
- 수열원 히트펌프 COP는 공기열원 대비 평균 15~20%로 높인데 수열원 히트펌프가 더 적은 전력소비로 동일한 냉난방을 수행할 수 있음을 의미함, 즉 수열원 히트펌프는 운전 비용을 절감시킬 수 있어 농가소득을 향상시킬 수 있음
- 다만 수열원 히트펌프의 초기 설비투자비용이 약 1.4배 높기 때문에 정부보조금 지원을 통해 시설 도입 부담을 줄여준다면 농가가 수열원 히트펌프 시스템을 적극적으로 도입할 것으로 판단됨

표 2-5-4-7. 작물별 변온 관리 (단위: °C)

작물		08~17시	17~22시	22~08시
장미과	딸기	냉난방제어, 환기	10~12	8
가지과	토마토		10~15	8
박과	온실 멜론		18~22	16
	오이		12~15	10
비고		광합성 촉진 온도	전류 촉진 온도	호흡억제 온도

[협동기관] 숙명여자대학교 (기관별 핵심성과 위주 10쪽 이내 작성)

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용	연구결과
2단계 1차 년도 (2022)	저가형 온실 복합 열환경 정밀 모니터링 기술 연구	적용기술 고도화 기반 제어솔루션 연구	○저가형 정밀 센서 시스템 고도화 기반 열환경 균일화 제어 실증 성능평가	○장기운전을 위한 시스템 용량 고도화 ○실증 온실 현장 설치, 운전 테스트 및 성능 고도화 수행
			○실증 성능 기반 제품 고도화	○계측 정확도 개선을 위한 RF 인지 제어 고도화 ○충전 시간 단축을 위한 고도화 설계안 도출
			○정밀 센싱 기반 열환경 균일화 제어 솔루션 확립	○Lab. 제어환경에서의 정밀센싱 기반 균일화 제어 연계 테스트 수행
			○상용화 보급을 위한 제품 표준화	○제품 고도화 기반 표준화 스펙 선정 ○제품 상용화 개발 모델 수립

(1) 저가형 정밀 센서시스템 고도화 기반 열환경 균일화 제어 실증 성능 평가

① 저가형 정밀 센서시스템 고도화 (표 2-5-5-1. 참고)

- 현장 실증 적용에 따른 최적 설계/제작 (고도화)
- 장거리, 계측 지점 증가에 따른 배터리 용량 문제 대두  
→ 배터리 용량 증설에 따른 무빙체 관경 증대 설계

표 2-5-5-1. 저가형 정밀 센서 (이송체) 시스템 고도화 스펙

구분	1단계 (1~2차년도, 하)	2단계 (3차년도, 상)
배터리 용량 관경	9 VDC, 625 mA  34.5 mm	8.4 VDC, 6,200 mA (4.2 VDC 3,100 mA 직렬 2개 연결)  50 mm
제품 비교		



그림 2-5-5-1. 고도화 센서 시스템 실증 온실 현장 적용 테스트 전경

② 저가형 정밀 센서시스템 열환경 균일화 제어 실증

- 실증 온실 대상 고도화 센서시스템 현장 설치 성능테스트 및 제어 고도화 실증 (위 그림 2-5-5-1. 참고)
- 그림 2-5-5-2.는 설치 베드 길이 방향으로의 온도 및 상대습도 계측 데이터 사례를 보여주고 있는데 온실 길이 방향의 경우 온실 출입구쪽과 중앙사이에 2.5~3 °C 정도의 온도 편차가 발생할 수 있음을 보여주고 있음
- 상대습도의 경우는 온도가 높아질수록 포화수증기압이 증가하므로 중앙으로 갈수록 상대습도가 크게 감소함을 알 수 있음

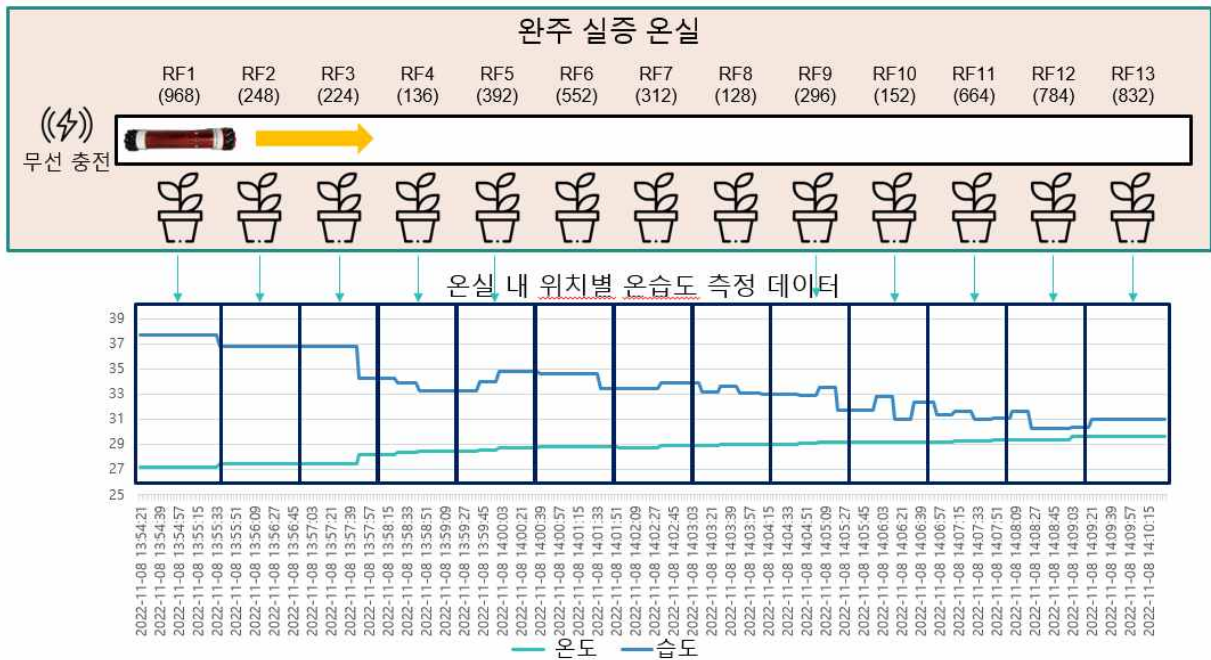


그림 2-5-5-2. 무빙-센서 온실 계측 개요도 및 계측 온습도 데이터 예

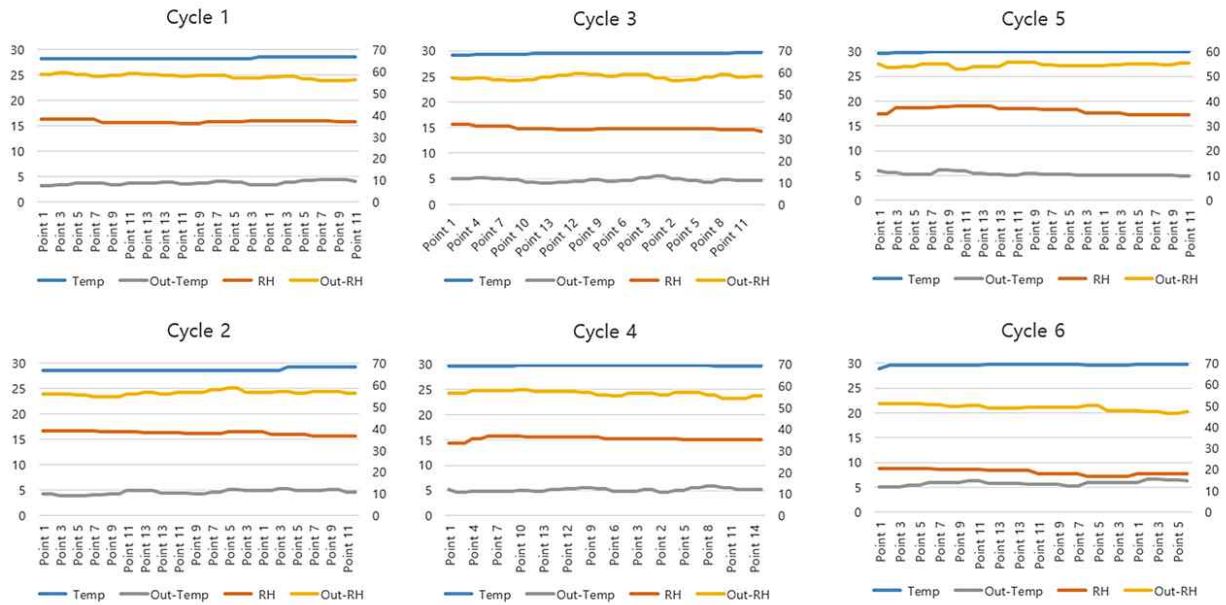


그림 2-5-5-3. 연속 사이클 현장 실증 결과(예)

- 해당 실증 온실의 경우 규모가 크고 당 실증 모델 적용에 따른 팬 코일 유닛 가동 등으로 일반적으로 알려진 비닐온실 내 온습도 편차보다 비교적 작은 차이가 발생하고 있는 것으로 분석됨 (그림 2-5-5-2. 참고)
- 그러나 작목에 따라서는 수 °C 온도의 편차에 의한 출입구, 측벽에 위치한 작물은 상대적으로 낮은 온도, 높은 습도에 지속적으로 노출된 개연성이 있음을 확인할 수 있었음
- 당 정밀 계측 모니터링의 평균 온습도 기반 제어 적용시 평균 온도 대비 편차를 절반 이상으로 줄일 수 있는 장점이 있으므로 작물 생산성 (혹은 품질) 측면에서 불필요하게 버려지는 생산량을 줄임으로써 결과적으로 판매 수익의 증대로 이어질 수 있음을 유추해볼 수 있음
- 연속운전에 따른 현장 실증 계측 결과 예를 그림 2-5-5-3.에 나타내었음
- 배터리 용량 증대에 따라 지속적인 연속운전이 가능함을 확인하였으며, 실제 온실 적용에 있어서는 과방전에 따른 배터리 문제 발생 사례가 발생하여, 1 cycle 운전 후, 일부 충전 후 재가동 방식의 제어 알고리즘을 수립, 적용하였음

## (2) 실증 성능평가 기반 제품 고도화

- ① 계측 정확도 향상을 위한 RF 인식 알고리즘 고도화 (그림 2-5-5-4 참고.)
  - 현장 실증 및 모니터링 결과 기존 인지 후 감속 및 정지 알고리즘 적용시 이송체의 관성에 따라 정지되는 위치의 정확한 제어가 어려운 것을 확인함
  - 옴니 휠의 슬립(Slip)현상으로 인해 모터 제어에 따른 정확한 제어가 어려운 점도 개선 필요하였음
  - (대안) RF 인식 후 바로 정지하는 기존 제어방식 대신, 일단 목표지점을 지난 후 전후 미세 이송제어를 통해 목표지점에 근접하는 방식으로 알고리즘을 수정함
  - 옴니 휠의 슬립현상 방지를 위해서는 현행 기성품(옴니휠 & 이송 배관(터널)) 대신 금형 기반의 정밀 생산방식을 적용(대량 생산시)하여 옴니 휠과 터널간 이격을 최소화하는 방식으로 전환이 필요한 것으로 생각됨



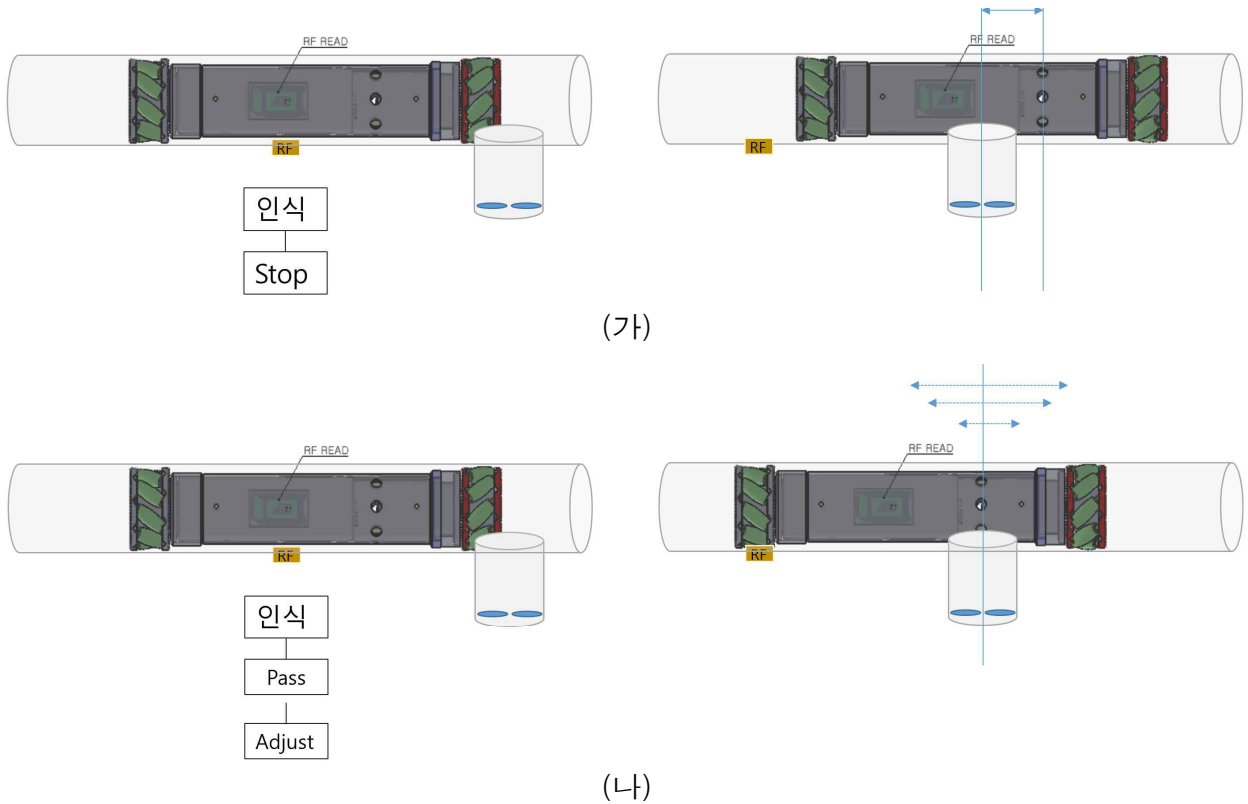


그림 2-5-5-4. RF 기반 송풍구 위치 제어 고도화 개요도: (가) 기존 제어방식 (인지 후 감속 제어), (나) 고도화 제어방식 (Pass & Adjust 제어)

② 충·방전 시스템 고도화

- 현장 실증 연속 운전과정에서 Full discharging 운전시 (100% → 0%) 과방전에 따른 배터리 손상 사례 확인
- 과방전 후, 충전에도 충전율이 현저하게 떨어지는 문제점 대두
- 현재 시제품 적용시 과방전은 연속 3시간 운전을 전·후로 발생
- **(대안)** 과방전 발생에 따른 배터리 손상 방지를 위한 연속운전 제한 알고리즘을 수립 및 적용
- 추후 배터리 용량 증대를 통한 과방전 발생 시간을 연장함  
(충전 방식 변경을 통해 현재 이송체 관경 대비 배터리 장착(증설) 공간 확보 가능)

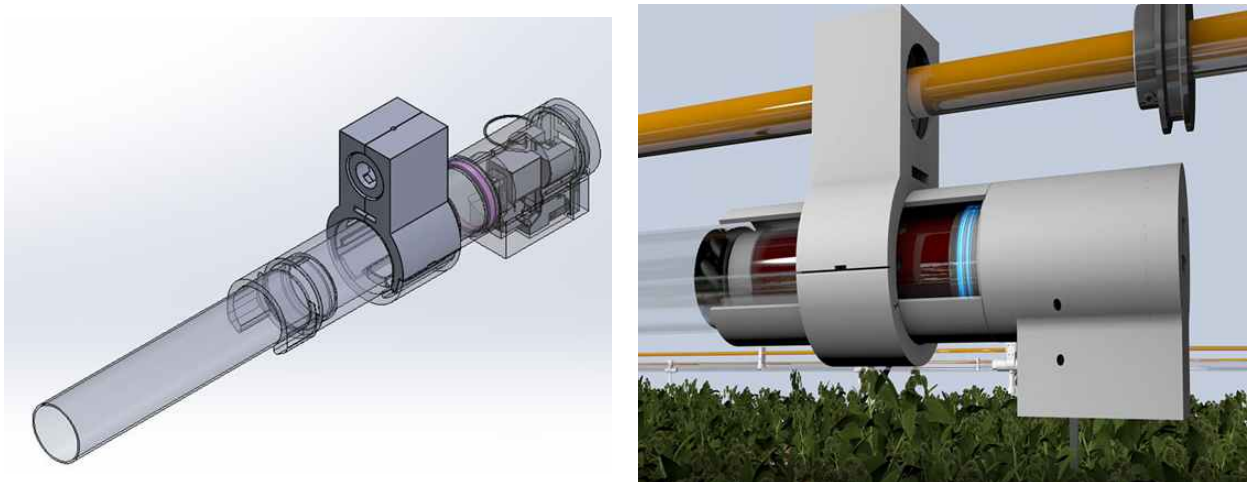


그림 2-5-5-5. 무빙 센서 충전시스템(모듈) 설계안 및 구현 개요도

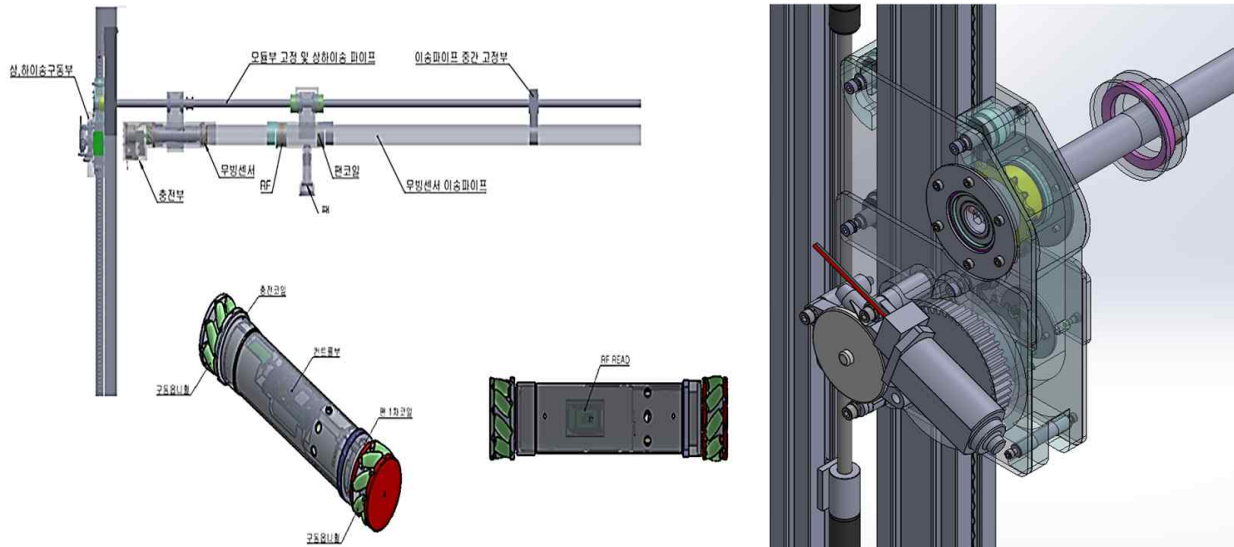


그림 2-5-5-6. 무빙센서 이송파이프(터널) 상·하방 고도제어 실시 설계안

③ 충전시스템 고도화 설계안 도출 (그림 2-5-5-5. 참고)

- 현재 충전시스템 설계안 대비 면 대 면 접촉방식 적용을 통한 충전 효율 개선이 필요
- 현재 충전 방식 대비 면 대 면 접촉방식 적용에 따른 가용 활용 체적이 증가하므로 과방전 방지를 위한 고도화 설계안으로 적합 (향후 상용화 개발 시 개선, 적용 예정)

④ 생육 단계별 상하방 위치 제어 시스템 고도화 (그림 2-5-5-6. 참고)

- 안정적인 이송 터널 상·하방 고도 제어 시스템 설계 및 적용
- 작물의 생육단계별 센서 이송체와 달리 급속 위치 변동 제어의 필요성은 없으나 안정적인 제어를 통해 이송파이프의 수평제어가 용이하도록 고도화 (기존 이송구동부 모터의 과설계로 인해 급속한 정지 등으로 이송파이프 수평이 깨지는 사례가 발생)
- 상용화 모델 개발시, 현재 수동에 의한 높이 제어방식 대신 작물 생육정보를 인식 (적외선 센서, 위치 센서 등)하여 최적의 거리를 유지할 수 있는 자동화 기반 이송파이프 높이 제어시스템 고도화 적용 예정

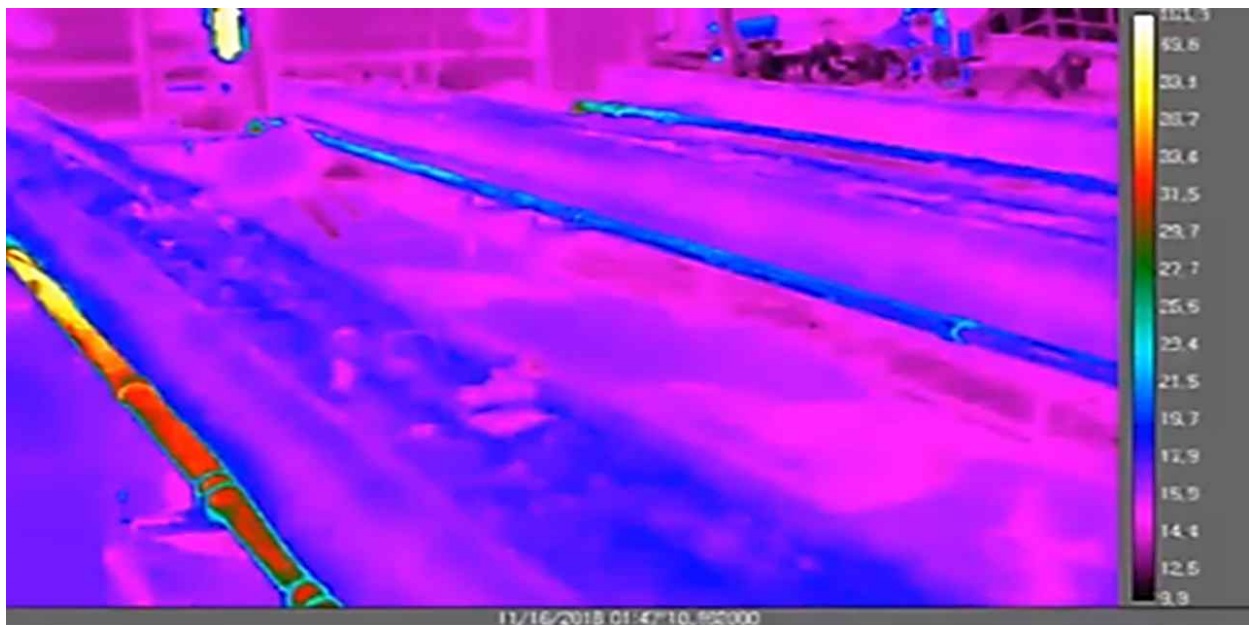
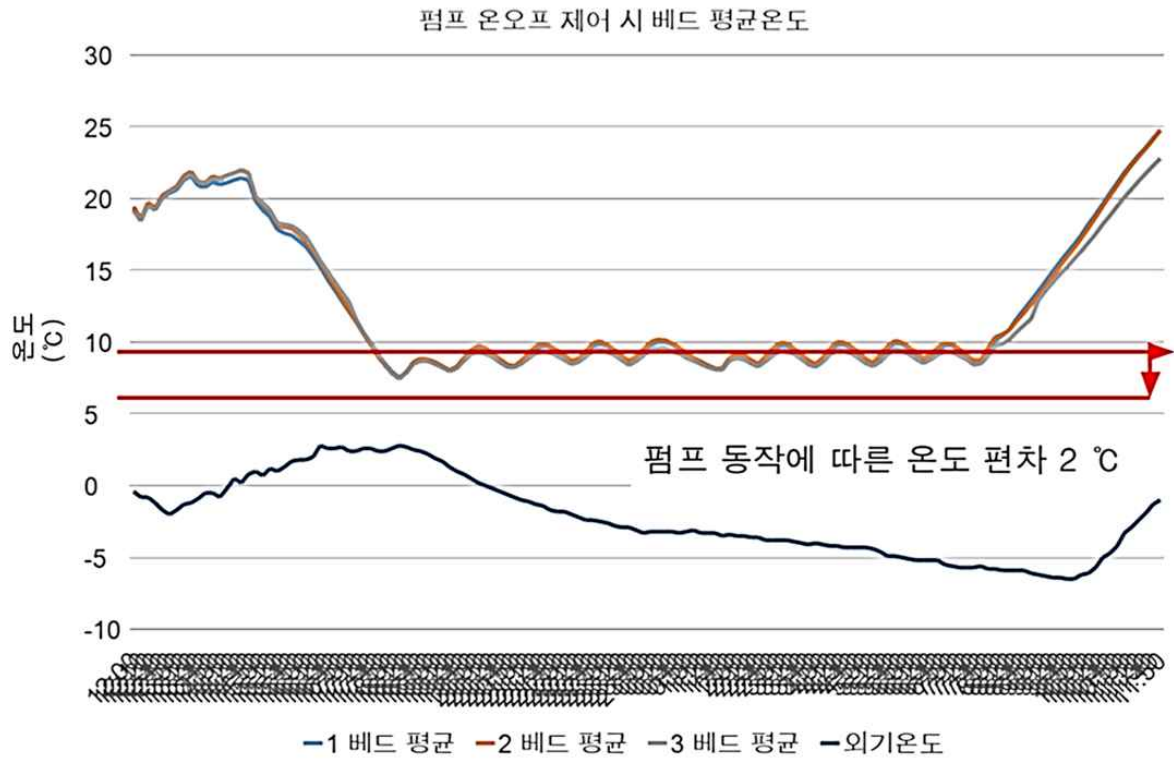
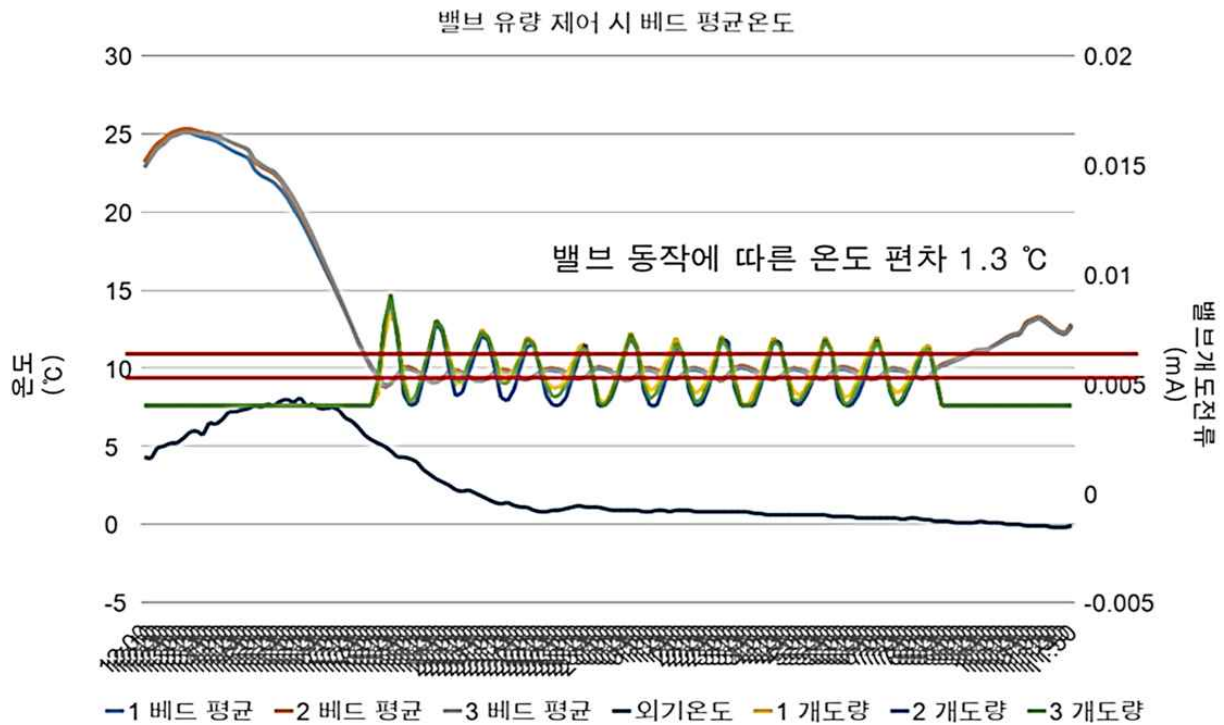


그림 2-5-5-7. 온수 기반 열 환경 균일화 제어 성능평가 (온도 분포)



(가)



(나)

그림 2-5-5-8. 온수 기반 열 환경 균일화 제어 결과(예): (가) 펌프 ON/OFF 제어 시 베드 평균온도, (나) 밸브 유량 제어 시 베드 평균온도



(가)



(나)

그림 2-5-5-9. 온수 기반 온실 열 환경 균일화 시스템 제어 프로그램 인터페이스: (가) 자동 모드 GUI, (나) 수동모드 GUI

### (3) 정밀센싱 기반 열환경 균일화 제어 솔루션 확립

- ① 다중 포인트 계측 평균 적용에 따른 온실 열환경 균일도 개선
  - 실 재배작물 생장에의 잠재적 영향을 고려하여 개념 수립에 따른 리스크 요인을 최소화 하기 위해 실증온실 대신 Lab. Scale 온실에서 정밀 계측에 따른 균일화 제어 테스트를 수행하였음 (그림 2-5-5-7. 참고)
  - Lab. scale 온실을 대상으로 한 테스트 조건으로 인해 각 베드별 평균에 의한 영향은 비교적 적은 것으로 계측되고 있음을 알 수 있음
  - 난방 제어에 따른 온도의 편차는 비 난방 기간 대비 다소 줄어드는 경향을 보이고 있으며 온실 내 온도변화에 따른 제어수단(온수난방)의 응답 속도 차이에 따른 편차가 크게 발생하고 있음을 알 수 있음



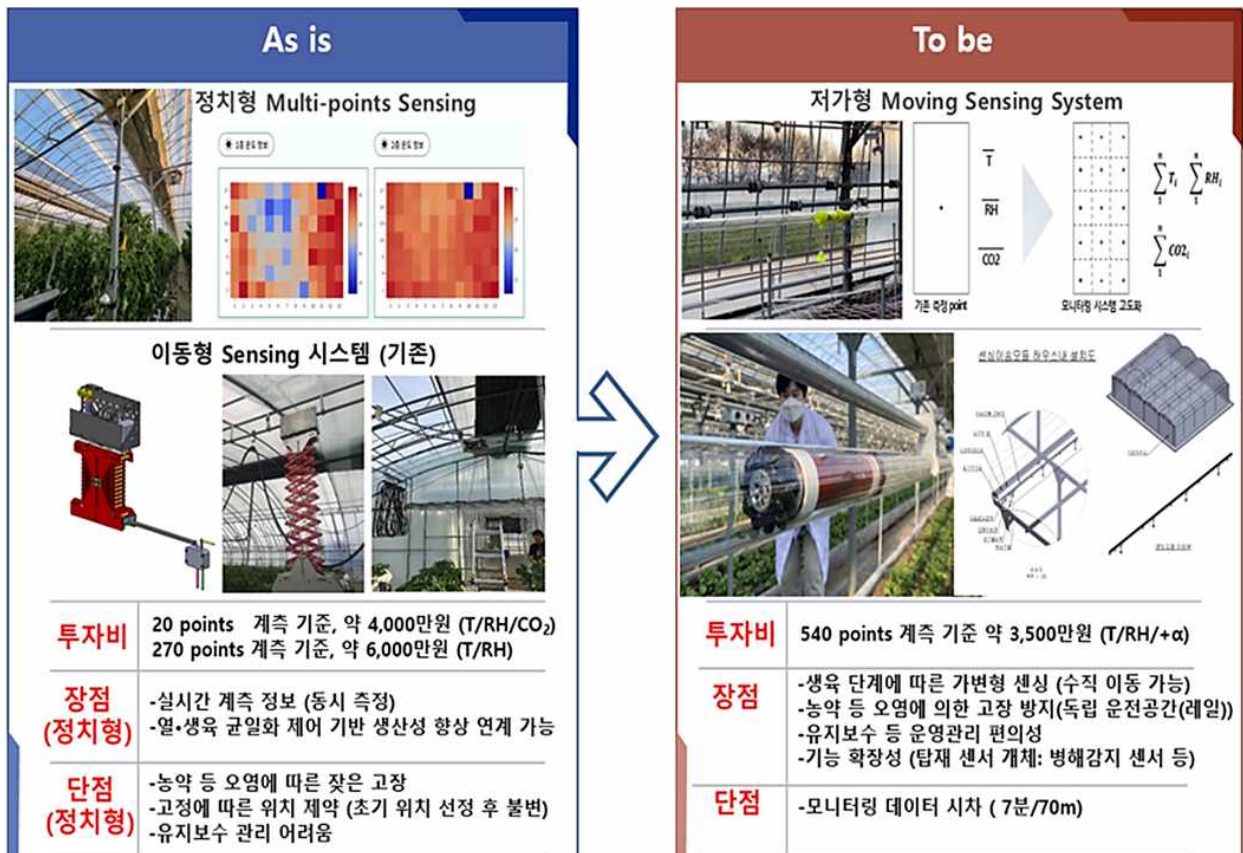


그림 2-5-5-10. 기존 센서 모델 대비 기술 및 시장성 측면 장·단점 비교

- 기존 ON/OFF 제어 방식의 난방 제어 적용시 Target 온도와의 온실 제어온도 차이가 상대적으로 크게 발생하였음 (약 2 °C)  
[그림 2-5-5-8. (가) 참고]
- 비례제어 방식의 난방 제어와 연계 제어시 Target 온도 범위 내에서 진동(Oscillating)하는 제어특성을 보이고 있으며 최대 온도 편차 또한 약 1.3 °C로 ON/OFF 방식 제어보다 35% 정도 줄어들었음 [그림 2-5-5-8. (나) 참고]
- 따라서 정밀 온실 환경 모니터링 시스템의 효과를 극대화하기 위해서는 난방(혹은 냉방) 수단의 응답속도를 병행하여 제어할 수 있도록 에너지 공급설비의 구축이 필요할 것으로 생각됨 (그림 2-5-5-9. 참고)

#### (4) 상용화 보급을 위한 제품 표준화

- ① 상용화 보급을 위한 가장 중요한 요인은 보급 가격이므로 저가형 정밀 모니터링 센서 시스템 구축을 위한 향후 상용화 개발시스템 요구 성능을 수립함
- ② 실증 기반 기존 시스템 대비 스펙 비교 (그림 2-5-5-10. 참고)
  - 기존 정치형 다중 위치 센싱 시스템, 이동형 센싱 시스템 대비 단위 계측 지점 개수별 설치(목표) 단가는 약 40~14% 저가로 구축할 수 있을 것으로 전망됨
  - 향후 상용화 및 고도화에 따른 배터리용량 증대, 이송시 슬립 방지, 충방전 성능 개선을 통해 단위 시간당 계측 가능 횟수(지점)을 증대시켜 시장 보급 가능한 저가형 무빙센서 모델을 확립할 예정임

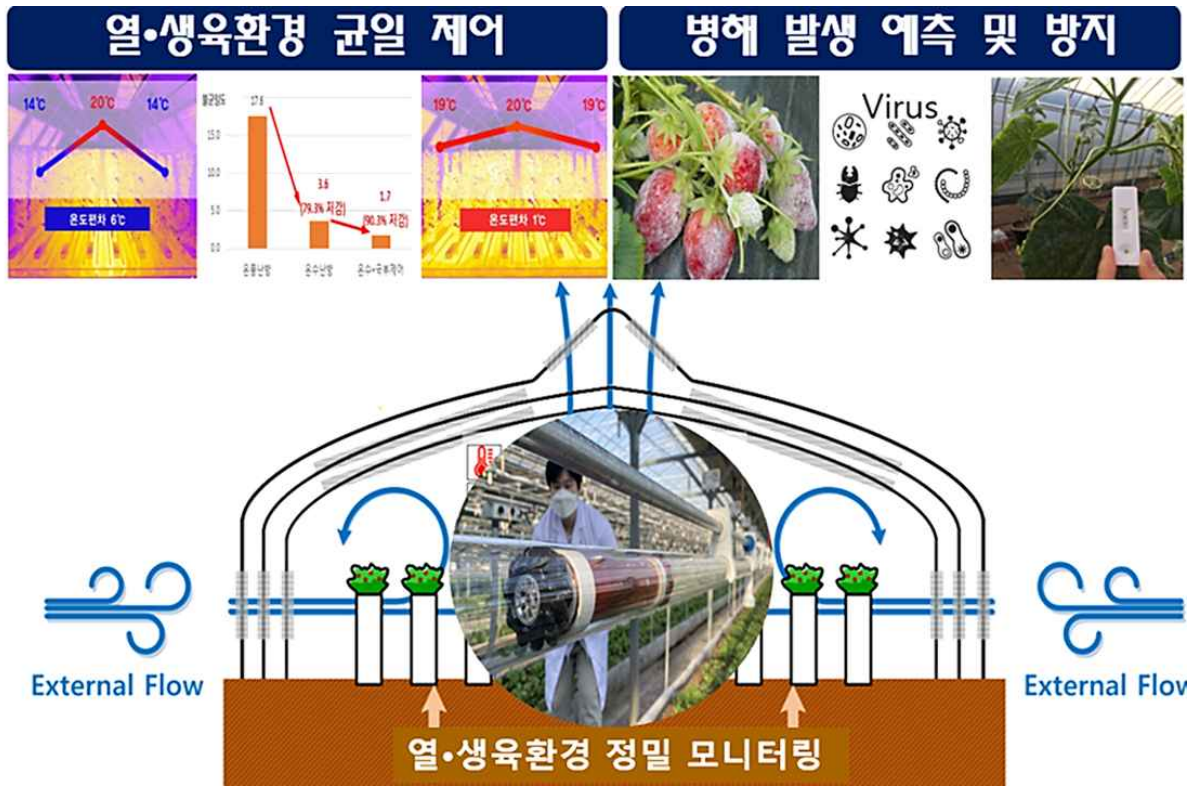


그림 2-5-5-11. 정밀 온실 생육환경 모니터링 시스템 사업화(상용화) 모델 개요

- 이동형 센싱 플랫폼의 단점이라 할 수 있는(정치형 다중 계측 방식 대비) 모니터링 데이터의 시차는 온실 열환경 변동성을 고려하여 적용 가능한 범위에서 실증하였으나 안정적인 구동을 위해 현재는 15분 내외로 세팅하여 운전함 (70 m 이송시 최대 약 7분 소요)
- 옴니휠 사이즈에 맞는 이송배관을 자체 제작(상용화시)할 경우 슬립에 의한 손실 등을 대폭 완화시킬 수 있을 것으로 보이며 이 경우 좀 더 신속하게 먼 거리의 영역을 계측할 수 있을 것으로 전망됨 (그림 2-5-5-11. 참고)

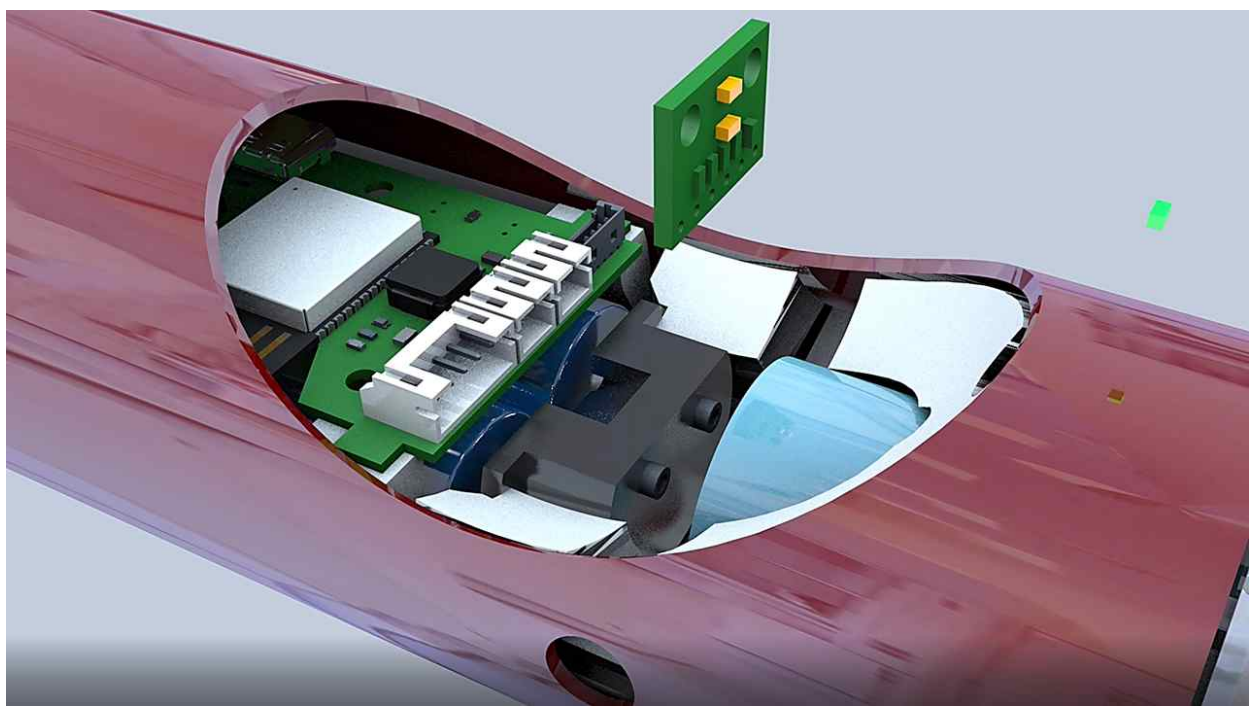


그림 2-5-5-12. 병해발생 및 예지를 위한 병해 감지 센서 탈부착 개념도

③ 상용화 보급을 위한 최소 사양 스펙

- 현행 온습도 계측을 통한 열 생육환경 균일 제어만의 목적으로는 시장(가격) 경쟁력을 확보하기에 다소 무리가 있을 수 있으므로 향후 이미 구축된 무빙 센서 플랫폼을 활용하고 열 생육환경 모니터링에 더하여 온실 내 광범위한 영역에서의 병해 발생을 예측할 수 있는 기능의 확장을 추진할 예정임 (그림 2-5-5-12. 참고)

[협동기관] 전북농업기술원 (기관별 핵심성과 위주 10쪽 이내 작성)

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용	연구결과
2단계 1차 년도 (2022)	생육 최적 환경 조건 설정 및 생산성 검정	시스템 적용 실증 온실의 생산성 검정	○축열 시스템 도입에 따른 동절기 생산성 검정	○재배 온실에 따른 식물체 미세 기상환경 (온도, 습도) 변화 조사 - 전북도원(익산), 완주실증온실; 3개소 대상
			○냉방 제습에 의한 하 절기 생육 및 생산성 검정	○냉방 제습 사용 온실과 관행 온실의 식물체 미세 기상환경(온도, 습도) 변화 조사 ○냉방 제습 사용온실의 수확 시작이 12일 빨랐음
			○실증 온실의 전체적 인 생육과 생산성 균 일도 조사	○실증 온실의 전체적인 생육편차가 적었 고 균일하였으며, 일시 수확이 가능 하 였음
			○최적 환경 설정을 위 한 자료수집 및 문헌 검색	○나리를 포함한 대부분의 구근류는 DIF 가 증가할수록 식물의 절간길이가와 초 장이 증가하고, DIF가 감소할수록 초 장은 감소하는 것으로 밝혀짐 ○나리의 화아분화, 잎의 전개, 줄기의 길이생장은 일평균기온과 양의 선형함 수 관계를 보이며, 화아분화 이후부터 화뢰 출현까지 기온이 높아질수록 기 간이 단축됨
			○기상환경과 생산성을 비교 검토하여 생육 최적환경 조건 설정	○나리 생육에 맞는 근권부온도는 15℃가 적정하며 근권부야간온도가 20℃이상이 되지 않도록 관리하는 것이 중요 ○생육적온범위내에서 주야간온도차가 클수록 초장, 꽃목길이, 화고가 높아지 는 경향이었음

(1) 축열시스템 도입에 따른 동절기 생산성 검정

- ① 실증 온실 식물체 주변 기상환경과 근권부 온도조사 (아래 표 2-5-6-1. 및 2. 참고)
- 온실1(대조온실1; 익산 전북도원)은 일평균기온이 21.0 ℃, 야간온도는 18.5~21.0 ℃ 범위로 유지하였음
  - 온실2(대조온실2; 익산 전북도원)은 일평균기온이 18.8 ℃, 야간온도는 10.0~17.5 ℃ 범위로 유지하였음
  - 온실3(실증온실; 완주 청운농원)은 일평균기온이 16.5 ℃, 야간온도는 8.0~15.0 ℃ 범위로 유지하였음
  - 평균 일사량은 온실1이 150.4  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  이었고 온실2가 20.5  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  이었으며 온실3이 15.5  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 로 가장 낮았음 (다음 장 그림 2-5-6-1. 참고)
  - 재배온실 평균습도는 온실1이 71.7%, 온실2가 52.2%, 온실3이 48.4%를 유지하였음

표 2-5-6-1. 재배 온실의 시험기간 동안의 식물체 주변 기상환경 (2021년12월20일~2022년05월03일)

재배온실	기상환경	평균대기온도 (℃)	평균일사량 ( $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ )	평균대기습도 (%)	평균근권부온도 (℃)
온실1 (익산)		21.0	150.4	71.7	21.9
온실2 (익산)		18.8	20.5	52.2	18.9
온실3 (완주)		16.5	15.5	48.4	16.8



표 2-5-6-2. 재배 온실별 환경 조절 시설 및 조절된 야간온도 범위

재배온실	온실형태	차광방법	습도조절	환기방법	야간온도범위
온실1 (익산)	유리(벤로형)	알루미늄	미스트	천창	18.5~21.0 °C
온실2 (익산)	유리(벤로형)	알루미늄	없음	천창, 측창	10.0~17.5 °C
온실3 (완주)	비닐(연동형)	다겹부직포	없음	천창, 측창	8.0~15.0 °C

- 재배온실 출퇴기(꽃대 나오는 시기) 전후(2022년02월20일~03월30일) 야간 근권부 생육 적온 범위 이상인(20 °C) 날이 온실1에서 가장 많이 관찰되었음 (아래 그림 2-5-6-2. 참고)

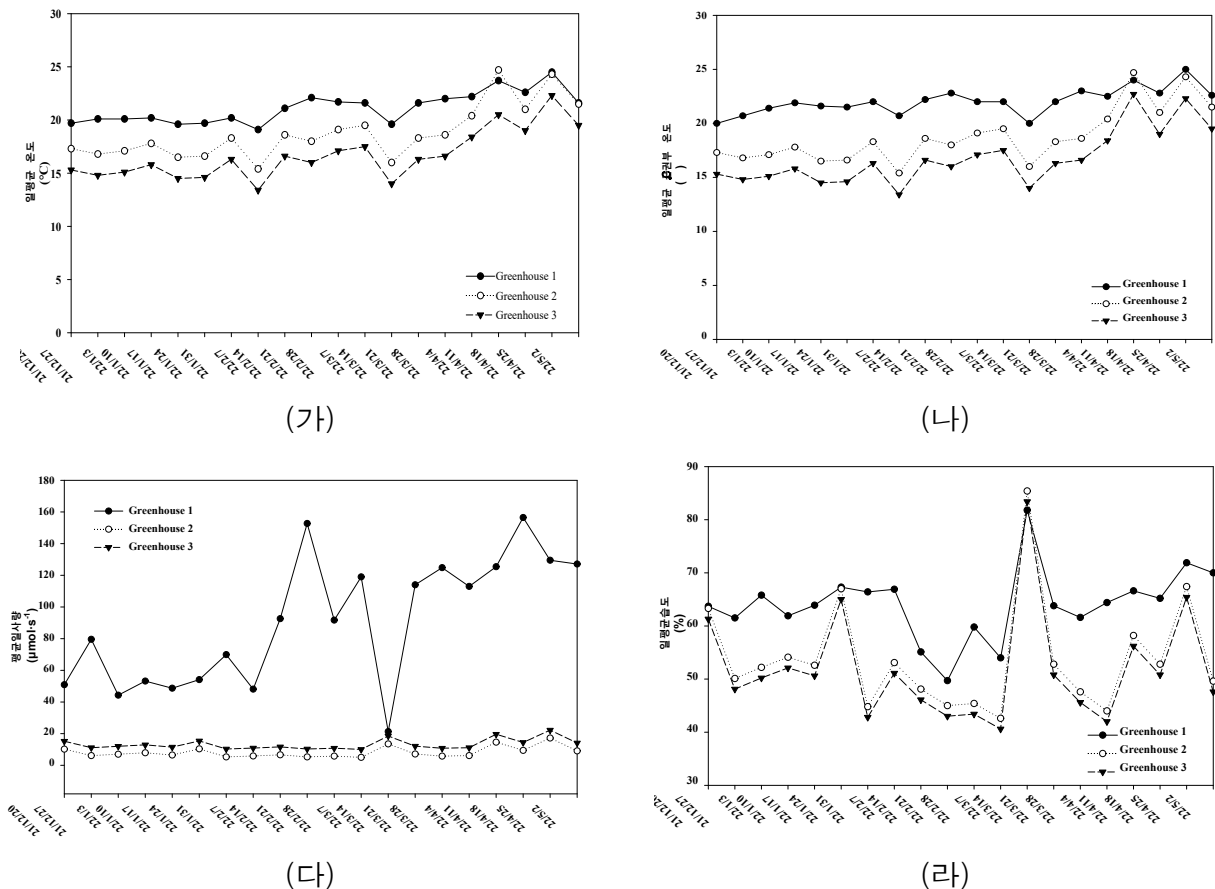


그림 2-5-6-1. 재배온실 별 시험기간 동안 식물체 주변 기상환경 변화: (가) 일평균 온도, (나) 일평균 근권부 온도, (다) 평균일사량, (라) 일평균습도

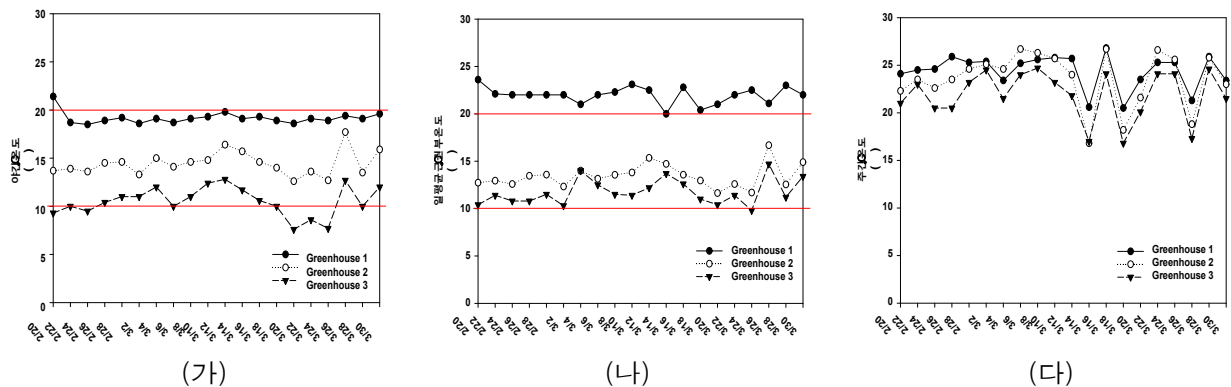


그림 2-5-6-2. 재배온실별 출퇴기(꽃대 나오는 시기) 전후기간 동안(2022년 2월 20일~3월 30일) 변화 양상: (가) 야간(18~07시) 온도변화, (나) 일평균 근권부온도 변화, (다) 주간(07~18시) 온도변화

표 2-5-6-3. 재배 온실별 나리 정식일, 맹아시기, 출뢰시기 및 개화시기

재배온실	정식일(년.월.일)	맹아시기(년.월.일)	출뢰시기(년.월.일)	개화시기(년.월.일.)
온실1	2021.12.20	2022.01.05~01.12	2022.03.01~03.05	2022.04.01~04.22
온실2	2021.12.20	2022.01.10~01.17	2022.03.10~03.14	2022.04.10~05.08
온실3	2021.12.20	2022.01.11~01.20	2022.03.18~03.22	2022.04.18~05.10

표 2-5-6-4. 재배온실별 출뢰기 전후(2022년02월20일~03월30일) 야간 생육 적온범위(20℃ 이상 및 이하(10℃) 일수

일수	재배 온실	온도		근권부 온도	
		야간온도 20℃ ↑	야간온도 10℃ ↓	야간온도 20℃ ↑	야간온도 10℃ ↓
온실1 (익산)		3일	0일	40일	0일
온실2 (익산)		0일	0일	0일	0일
온실3 (완주)		0일	8일	0일	2일

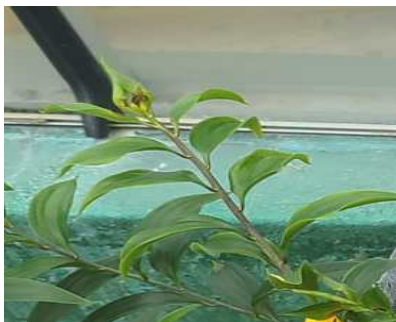
- 나리 생육에 맞는 근권부온도는 10~20℃이며, 야간 근권부온도가 20℃ 이상인 온실1에서는 신나팔나리 ‘우리타워’ 품종은 절화 수확이 어려웠고 절화 생산 품질이 하락하는 경향이었음

② 기상환경(온도) 변화에 따른 생리장애 발생 양상 조사

- 재배 온실별 출뢰기(꽃대 나오는 시기) 온실 1에서는 야간근권부 온도가 20℃로 지속 유지하였음 (표 2-5-6-3. 및 4. 참고)
- 신나팔나리 ‘우리타워’는 야간 생육온도가 20℃ 이상일 경우 고온 장애가 발생하였음
- 야간온도가 높았던 온실1에서(기형화, 블라인드, 꽃봉오리 탈락 등)가 발생하였음 (아래 그림 2-5-6-3. 참고)
- 신나팔나리 ‘우리타워’ 품종은 출뢰기(꽃대 나오는 시기)에 야간온도를 20℃이하로 유지하는 것이 품질 유지에 중요함

③ 기상환경 조사 지점에서의 작물의 생육 및 생산성 평가

- 재배 온실별 초장(식물체 길이)의 변화를 확인하기 위해 7일 주기로 조사한 결과 온실별 품종의 생장이 유사한 양상을 보였음 (다음 장 그림 2-5-6-4. 참고)
- 초장은 주야간온도차(DIF)가 크고 야간온도가 10℃ 이상, 20℃ 이하로 유지되었던 온실 2에서 우리타워, 시베리아, 쉐라 품종 모두 줄기 생장이 우수하였음



(가)

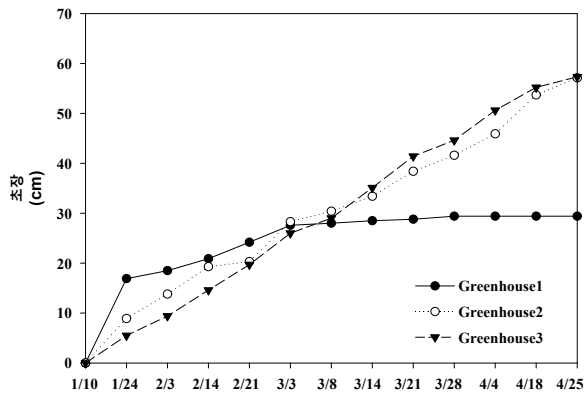


(나)

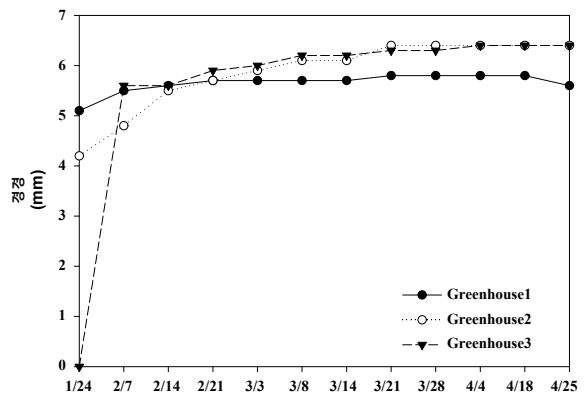


(다)

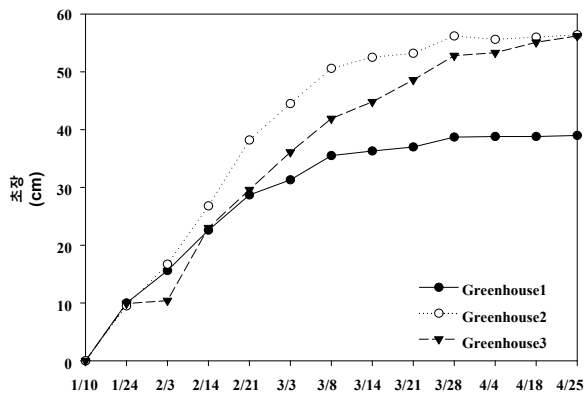
그림 2-5-6-3. 고온으로 인한 나리 생리장애: (가) 블라스팅, (나) 기형화, (다) 엽소현상



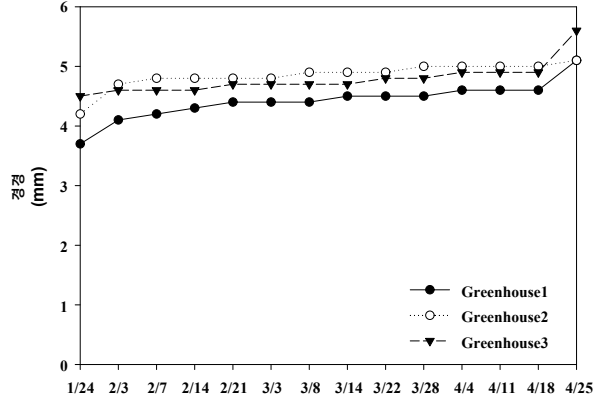
(가)



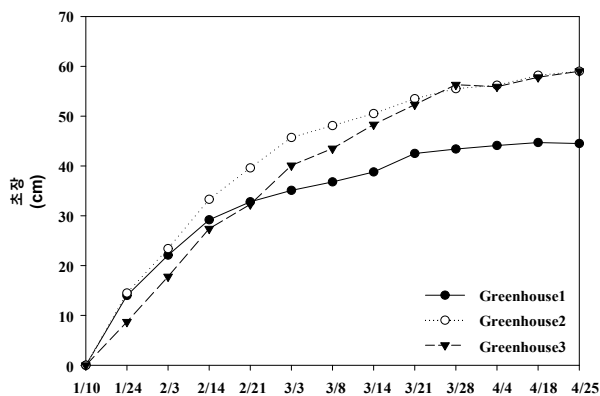
(나)



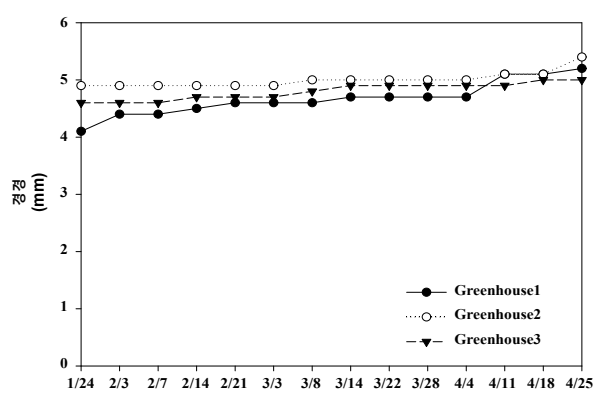
(다)



(라)



(마)



(바)

그림 2-5-6-4. 재배 온실별 초장(식물체 길이)과 경경(줄기 굵기) 변화: (가) 우리타워 초장, (나) 우리타워 경경, (다) 시베리아 초장, (라) 시베리아 초장, (마) 웨라 초장, (바) 웨라 경경

- 재배 온실별 나리 품종의 줄기 굵기 변화는 길이생장과 달리 특별한 경향을 보이지 않았음 (그림 2-5-6-4. 참고)
- 주야간온도차(DIF)가 큰 온실2의 줄기 생장이 가장 길었고, 주야간온도차(DIF)가 클수록 줄기생장이 빠르다는 결과와 일치함
- 재배 온실별 나리 생육, 품질 조사 결과 온실의 야간온도가 생육적온범위(10~20 ℃) 내에 있으며, 주야간온도차(DIF)가 클수록 줄기 생장이 빠르고, 품질이 우수한 것으로 생각됨

표 2-5-6-6. 품종별 재배 온실에 따른 절화 품질 비교

품종	재배 온실	절화장 (cm)	절화중 (g)	화뢰장 (cm)	소화수 (개/주)	꽃목길이 (cm)	엽수 (개/주)
우리타워 (신나팔나리)	온실1	-	-	-	-	-	-
	온실2	53.8±4.6b <sup>2</sup>	58.3±15.8a	15.6±2.4a	1.1±0.3a	2.7±1.2b	39.3±7.7a
	온실3	64.5±2.8a	64.6±10.7a	16.4±1.2a	1.0±0.2a	3.6±1.0a	34.9±4.5b
시베리아 (오리엔탈)	온실1	57.0±5.7b	52.4±5.2a	11.9±2.2a	1.0±0.0a	3.2±0.4ab	24.4±2.1ab
	온실2	69.6±6.9a	59.7±8.3a	14.0±1.1a	1.1±0.3a	2.5±1.1b	26.7±3.1a
	온실3	63.1±6.2ab	45.4±5.3a	12.2±1.1a	1.2±0.4a	4.2±1.0a	21.4±2.4b
쉐라 (오리엔탈)	온실1	55.9±5.4b	24.6±3.9a	8.0±1.2b	1.0±0.0a	3.5±1.5a	24.2±1.8a
	온실2	70.1±6.4a	44.0±6.1a	11.7±1.6a	1.1±0.2a	2.8±0.7a	22.3±2.4a
	온실3	62.0±2.1ab	37.5±3.6a	10.3±2.0a	1.0±0.0a	2.4±0.8a	20.7±3.9a

<sup>2</sup>DMRT (Duncan's multiple range test; 다중검정)

④ 기상환경 조사 지점에서의 작물 생산성(절화 품질) 평가

- '우리타워' 품종은 일평균기온이 21 °C로 유지되고, 야간온도가 20 °C 이상으로 유지되었던 온실1(대조온실1; 익산)에서는 수확이 어려웠음 (표 2-5-6-6. 참고)
- 온실2(대조온실2; 익산)와 온실3(실증온실; 완주)에서 나리 절화 품질이 우수한 경향이었으며 야간온도가 20 °C 이상이었던 온실1에서는 시험품종 모두 절화품질이 하락하는 경향이었습니다

(2) 냉방 제습에 의한 하절기 생육 및 생산성 검정

① 실증온실과 대조온실3의 식물체 주변 기상환경과 근권부 온도조사

- 시베리아' 품종의 완주 소재 재배 온실(실증온실, 대조온실3)에 따른 생육을 비교하였음 (그림 2-5-6-5. 참고)
- 평균 일사량은 온실3(실증온실; 완주)이 59.1 μmol/m<sup>2</sup>/s 이었고 온실3(대조온실3; 완주)가 61.2 μmol/m<sup>2</sup>/s 이었음 (다음 장 표 2-5-6-7. 참고)
- 온실3(실증온실; 완주)은 일평균기온이 19.0 °C, 야간온도는 10.7~26.4 °C 범위로 유지하였음 (다음 장 표 2-5-6-7.~8. 및 그림 2-5-6-6. 참고)
- 온실4(대조온실3; 완주)은 일평균기온이 20.9 °C, 야간온도는 11.5~23.1 °C 범위로 유지하였음 (다음 장 표 2-5-6-7.~8. 및 그림 2-5-6-6. 참고)



(가)



(나)

그림 2-5-6-5. '시베리아' 품종의 재배 온실에 따른 생육 비교



표 2-5-6-7. 재배 온실의 시험기간 동안의 식물체 주변 기상환경 (2022년09월20일~2022년 05월03일)

재배온실	기상환경	평균대기온도 (°C)	평균일사량 (μmol/m <sup>2</sup> /s)	평균대기습도 (%)	평균근권부온도 (°C)
온실3(실증)		19.0	59.1	82.7	17.2
온실4(대조)		20.9	61.2	82.1	18.3

표 2-5-6-8. 재배 온실별 환경 조절 시설 및 조절된 야간온도 범위

재배온실	온실형태	차광방법	냉방시설	환기방법	야간온도범위
온실3(실증)	비닐(연동형)	다겹부직포	지열, 수열 이용	천창, 측창	10.7~26.4 °C
온실4(대조)	비닐(연동형)	다겹부직포	없음	측창	11.5~23.1 °C

- 재배온실의 평균습도는 온실3(실증온실; 완주)이 82.7%, 온실4(대조온실3; 완주)가 82.1%를 유지하였음 (표 2-5-6-7. 참고)
- 재배온실 출퇴기(꽃대 나오는 시기) 전후(2022년09월20일~10월30일) 야간 근권부 생육 적온 범위 이상인(20 °C) 날이 온실3(실증온실; 완주)에서 가장 많이 관찰되었음 (아래 그림 2-5-6-6. 참고)

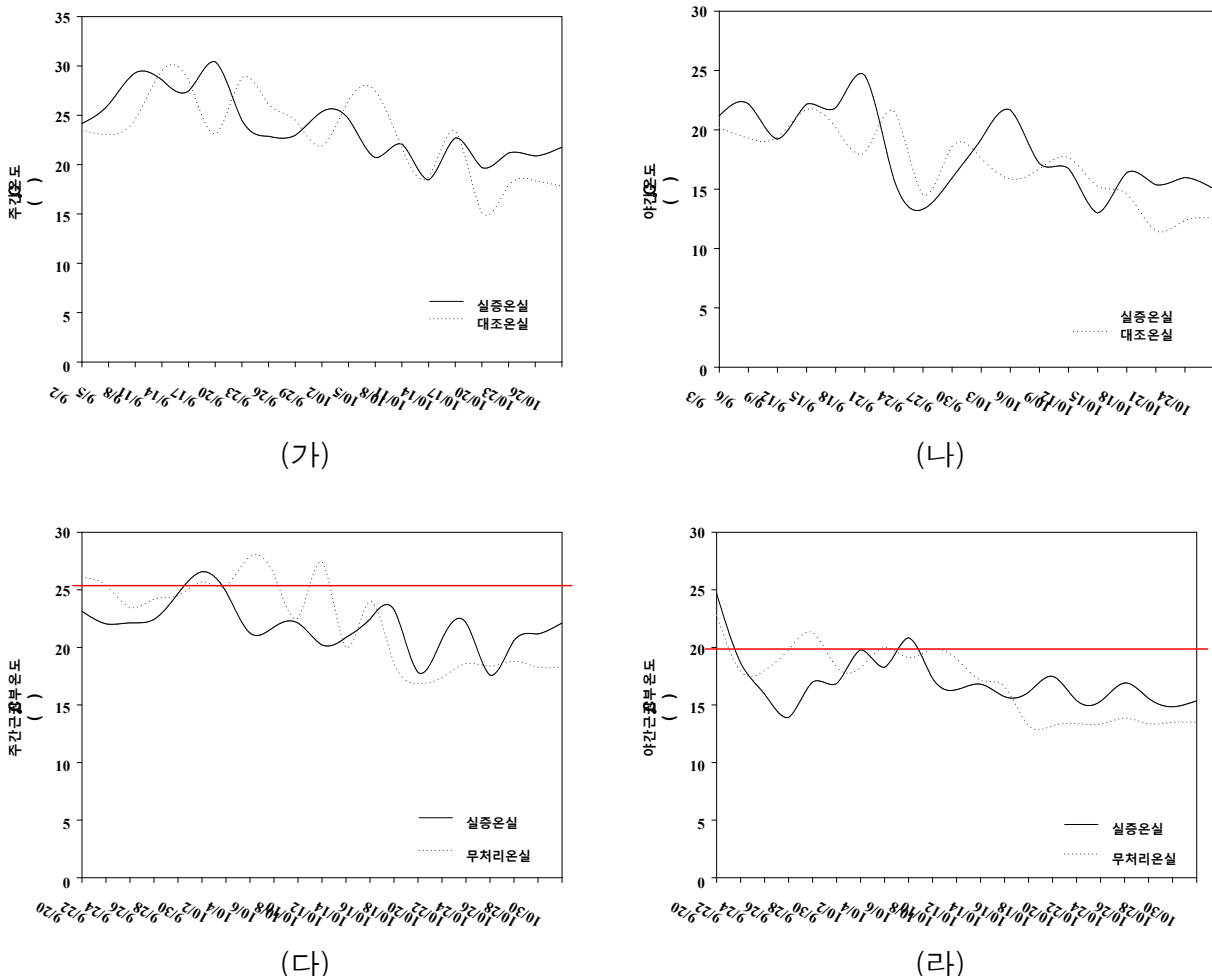
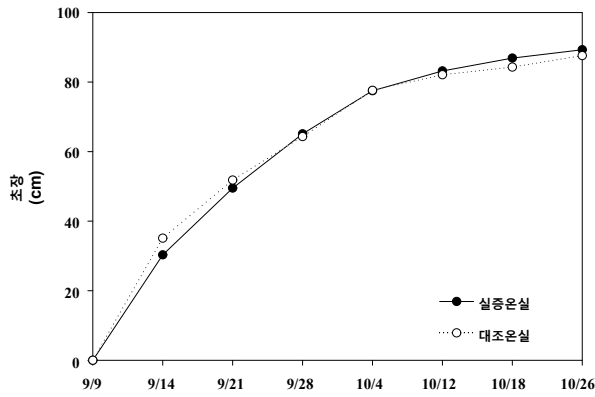
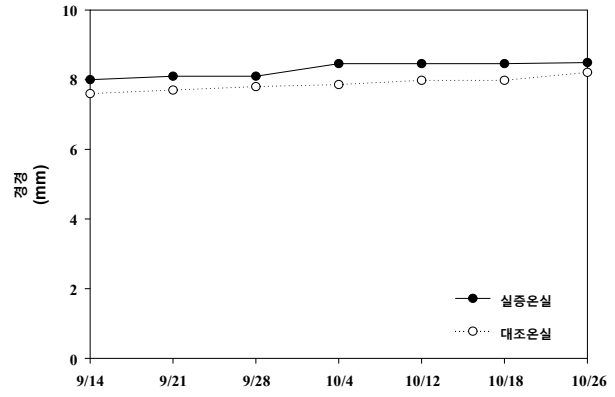


그림 2-5-6-6. 재배온실별 출퇴기(꽃대 나오는 시기) 전후기간 동안(2022년09월20일~10월 30일) 변화 양상: (가) 주간(07~19시) 온도변화, (나) 야간(19~07시) 온도변화, (다) 주간(07~19시) 근권부온도 변화, (라) 야간(19~07시) 온도변화



(가)



(나)

그림 2-5-6-7. ‘시베리아’ 품종의 재배 온실별 (가) 초장(식물체 길이)과 (나) 경경(줄기 굵기)의 변화

② 기상환경 조사 지점에서의 작물의 생육 및 생산성 평가

- ‘시베리아’ 품종의 온실3과 온실4에서의 초장(식물체 길이) 변화를 확인하였음 (그림 2-5-6-7. 참고)
- 7일 주기로 초장변화를 조사한 결과 각 온실에서 유사한 양상을 보였음
- 재배 온실별 ‘시베리아’ 나리 품종의 줄기 굵기 변화는 길이 변화와 달리 특별한 경향을 보이지 않았음 (그림 2-5-6-7. 참고)
- 일평균 온도가 낮고 주야간온도차{DIF[day & night temperature differential;=DT(주온)-NT(야온)]}가 큰 실증온실에서 줄기길이가 길었고, 주야간 온도차(DIF)가 클수록 줄기생장이 빠르다는 결과와 일치함 (그림 2-5-6-6. 및 7. 참고)
- ‘시베리아’ 품종의 각 주요시기를 확인한 결과 실증온실에서 맹아시기, 출뢰시기, 개화시기, 수확시기 모두 빠른 경향이였음 (아래 표 2-5-6-9. 참고)
- 재배온도와 절화품질을 좌우하는 요인 중 절화장을 제외하고, 절화중, 소화수, 꽃목길이, 엽수 등 관계가 깊은 것을 확인하였음 (그림 2-5-6-7. 및 표 2-5-6-10. 참고)
- 나리의 품질을 결정하는 절화중, 소화수, 꽃목길이 등 일평균온도가 낮고, 주야간 온도차가(DIF)가 컸던 실증온실에서 우수한 경향이였음

표 2-5-6-9. 재배 온실별 ‘시베리아’ 품종 맹아시기, 출뢰시기, 개화시기 및 수확시기 (정식일: 2022.09.02)

재배온실	맹아시기(년.월.일)	출뢰시기(월.일)	개화시기(월.일)	수확시기(월.일)
온실3(실증)	2022.09.05~09.08	2022.10.04~10.10	2022.11.16~11.20	2022.11.24~11.30
온실4(대조3)	2022.09.06~09.10	2022.10.12~10.20	2022.11.24~12.05	2022.12.06~12.16

표 2-5-6-10. 품종별 재배 온실에 따른 절화 품질 비교

품종	재배 온실	절화장 (cm)	절화중 (g)	화뢰장 (cm)	소화수 (개/주)	꽃목길이 (cm)	엽수 (개/주)
시베리아 (오리엔탈)	온실3	82.2±5.5b <sup>2</sup>	150.2±22.4a	10.6±1.0b	4.0±0.8a	8.1±0.9a	43.1±5.8a
	온실4	88.2±9.3a	119.8±34.3b	12.1±1.2a	3.0±1.0a	6.6±1.2b	43.2±6.3a
노와 (겹꽃)	온실3	72.5±2.8a	99.2±4.2a	9.2±0.9a	2.2±0.4a	5.0±0.9a	32.3±3.6a
	온실4	75.6±3.4a	87.6±5.1b	10.1±1.1a	2.0±0.8a	4.9±0.4a	35.8±2.1a

<sup>2</sup>DMRT (Duncan's multiple range test; 다중검정)



(가)

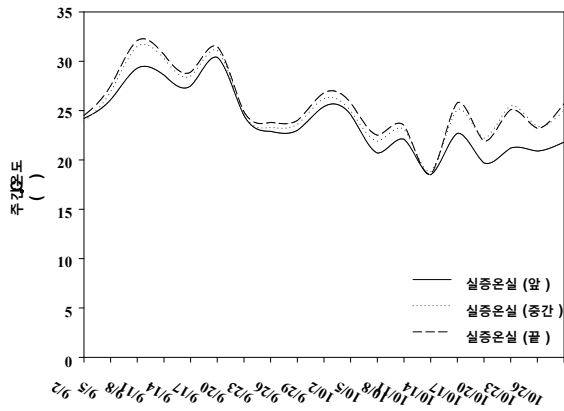
(나)

(다)

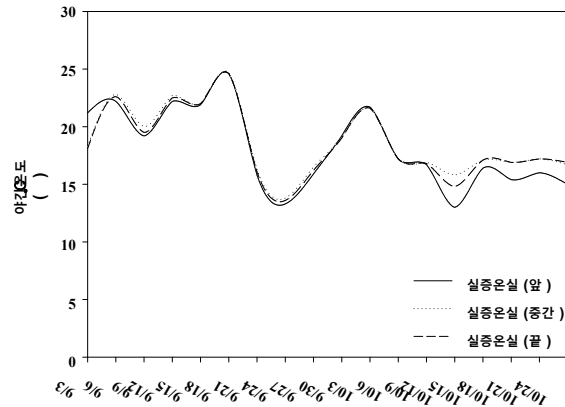
그림 2-5-6-8. '시베리아' 품종의 실증온실(완주 소재) 내 위치에 따른 생육 비교: 실증온실 (가) 앞부분(서쪽; 출입구 부근), (나) 중간부분, (다) 뒷부분(동쪽)

③ 실증온실의 전체적인 생육과 생산성 균일도 조사

- '시베리아' 품종의 실증온실(완주 소재) 내 위치에 따른 생육을 비교하였음 (그림 2-5-6-8. 참고)

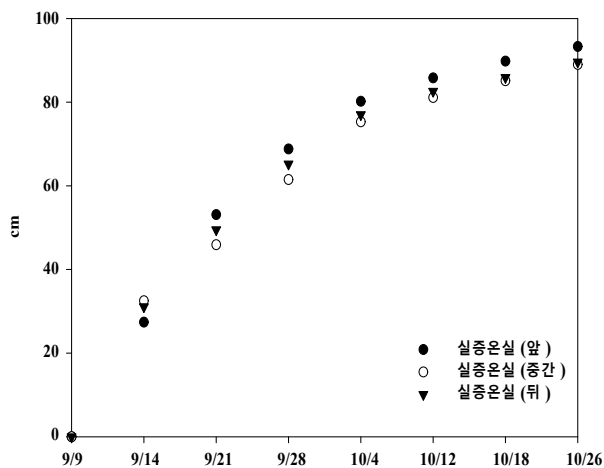


(가)

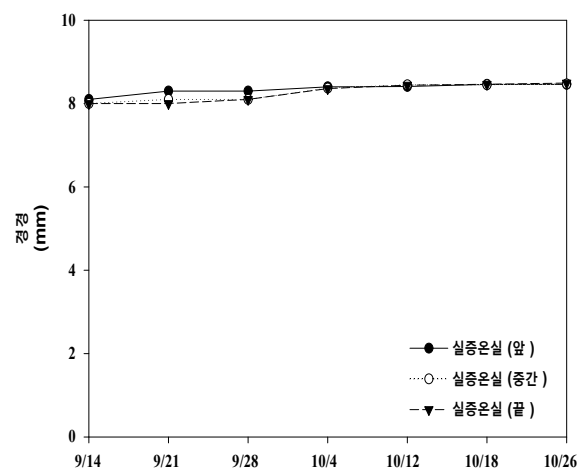


(나)

그림 2-5-6-9. 실증온실(완주 소재) 위치별 시험기간 동안 식물체 주변 온도 변화: (가) 주간 온도, (나) 야간온도



(가)



(나)

그림 2-5-6-10. '시베리아' 품종의 실증 온실 위치별 (가) 초장(식물체 길이)과 (나) 경경(줄기 굵기) 변화

표 2-5-6-11. 시베리아 품종의 실증온실 내 위치별 절화 품질 비교

재배온실	절화장 (cm)	절화중 (g)	화뢰장 (cm)	소화수 (개/주)	꽃목길이 (cm)	엽수 (개/주)	수확시기 (월.일.)
실증온실(앞)	84.5±7.0	147.0±20.3	10.3±1.0	3.8±0.9	8.3±0.9	43.5±5.8	11.24~11.30.
실증온실(중간)	81.0±5.1	156.8±25.9	10.7±1.0	4.3±0.9	8.1±1.0	43.4±6.1	11.24~11.24.
실증온실(끝)	81.1±4.5	146.7±20.8	10.8±1.0	3.9±0.7	7.9±0.9	42.4±5.4	11.24~11.24.

- 실증온실의 주·야간 온도는 유사한 경향이었으며 온실 앞쪽부분의 온도가 전반적으로 낮은 경향이었음 (그림 2-5-6-9. 참고)
- 실증온실 내 초장(식물체 길이)의 변화를 확인하기 위해 7일 주기로 조사한 결과 각 지점에서 유사한 양상이었으며 큰 편차를 보이지 않았음 (그림 2-5-6-10. 참고)
- ‘시베리아’ 품종의 실증온실 내 위치별 절화 품질비교 결과 균일한 생육을 유지하였음 (그림 2-5-6-8. 및 표 2-5-6-11. 참고)
- ‘시베리아’ 품종의 실증온실 내 위치별 수확일 비교결과 실증온실의 중간과 뒷부분에서는 모두 11월 24일 일시에 수확하였고, 앞부분에서는 11월 24~11월 30일에 수확하였으며 큰 편차를 보이지 않았음 (표 2-5-6-11. 참고)

④ 최적 환경 설정을 위한 자료 수집 및 문헌검색

- 나리 절화 생산성에 미치는 기상요인으로 기온, 지온, 상대습도, 일사량 등 다양하지만 기온과 일사량이 주된 환경요인으로 구근의 성장과 발육과의 관계가 높음
- 나리 줄기 신장에는 일평균기온, 주야간온도차 등이 복합적으로 관여한다고 알려짐
- 나리를 포함한 대부분의 구근류는 +DIF가 증가할수록 식물의 절간길이와 초장이 증가하고 -DIF가 증가할수록 초장은 감소하는 것으로 밝혀졌으나 튜립, 히야신스, 수선과 같은 추식구근은 DIF에 반응하지 않음 (참고논문: Heins와 Erwin, 1990)
- 나리 구근의 춘화처리 후부터 화아분화 전까지 영양생장 단계인데 이때의 생육 최적 온도는 10~12도 이지만 초기 영양생장 시기 높은 토양 온도는 줄기 신장을 억제하고 잎의 품질을 하락시키는 원인이 됨  
(참고논문: Erwin and Heins, 1990; De Hertogh and Wilkins, 1970; Karlsson et al., 1988)
- 나리의 화아분화, 잎의 전개, 줄기의 길이생장은 일평균기온과 양의 선형함수 관계를 보이며, 화아분화 이후부터 화뢰 출현까지 기온이 높아질수록 기간이 단축됨  
(참고논문: Erwin and Heins, 1990)



### 3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

#### 3-1. 연구수행 결과

##### (1) 정성적 연구개발성과

---

[1단계: 2020.04.29 ~ 2021.12.31]

- [에너지 탐사] 부문 연구개발 성과 (수행기관: 한국지질자원연구원)
  - 대수층 계간축열 최적지 선정을 위한 지질조사 및 수리지질 평가
  - 실증지 총적층 대수층 분포 조사 및 타당성 평가
  
- [대수층 계간축열(ATES) 에너지 생산] 부문 연구개발 성과  
(수행기관: (주)지엔에스엔지니어링)
  - 대규모 열사용 시설인 시설원예시설에 안정적 냉·온열을 생산·저장·공급하는 총적대수층을 이용한 ATES 시설원예 냉난방시스템 개발
  - 기 개발된 “기후변화대응 총적대수층 계간축열에 의한 온실냉난방 기술(농진청, 2015~2017년)”을 적용 및 확장하여 실증모델 구축
  
- [에너지 변환] 부문 연구개발 성과 (수행기관: (주)센도리)
  - 수열원 전처리 장치 설계 및 히트펌프 시스템 구축
  - IoT 융합 신재생에너지 인증설비 히트펌프 선정 및 구축
  - 기계실 열공급 설비 시공 및 자동운전제어 설계
  - 히트펌프-펠릿 보일러 연계 구축 및 자동운전제어 설계
  
- [바이오설비 융복합 및 온실 에너지 관리] 부문 연구개발 성과  
(수행기관: 한국에너지기술연구원)
  - 피크부하 대응 바이오설비 및 자연냉각 계간축열 융복합 에너지관리 기술 개발
  - 실증모델 플랫폼 적용 위한 목재펠릿 성능(열효율, 배가스 특성 등) 평가를 통한 실증설비 구축
  - 바이오 펠릿(목재, EFB 등) 종류에 따른 연료 성질, 열분해 특성 분석 및 평가
  - 온실 멀티 포인트 환경 모니터링 기술 실증 및 환경 균일 제어 로직 개발
  
- [열 환경 정밀 모니터링] 부문 연구개발 성과  
(수행기관: 숙명여자대학교)
  - 저가형 온실 복합 열환경 정밀 모니터링 기술 연구
  - 온실 복합 열환경 정밀 센싱 정보 기반 열환경 균일화 제어 방안제시
  
- [생육 최적관리] 부문 연구개발 성과 (수행기관: 전라북도농업기술원)
  - 재배 시기별 실증 온실의 내부 미세 기상환경 조사와 생산성 검토
  - 실증온실과 비교온실 별 식물체와 근권부 기상환경과 생육 비교

---

[2단계: 2022.01.01 ~ 2022.12.31]

- [에너지 탐사] 부문 연구개발 성과 (수행기관: 한국지질자원연구원)
  - ATES 운영에 따른 대수층 모니터링 자료 평가
  - 지중축열에 따른 대수층 내 수질 측정 모니터링
  - 취수-주입정 운영에 따른 지하수 유동성 평가
  - 드론을 이용한 지표 안정성 모니터링
  
- [대수층 계간축열(ATES) 에너지 생산] 부문 연구개발 성과  
(수행기관: (주)지엔에스엔지니어링)
  - 안전한 냉온열 생산을 위해 지열정 보강
  - 총적층 계간축열(ATES) 시스템 최적운전을 위한 모니터링 시스템 구축
  - 모래여과기를 이용한 이물질 제거 장치 현장적용
  - 총적층 계간축열(ATES) 시스템 설계 매뉴얼 작성
  - 총적층 계간축열(ATES) 시스템 운전 매뉴얼 작성
  - 총적층 계간축열(ATES) 시스템 유지관리 매뉴얼 작성
  
- [에너지 변환] 부문 연구개발 성과 (수행기관: (주)센도리)
  - 융복합 신재생에너지 시스템 및 스마트제어 구축
  - 수열원 전처리(여과세정) 장치 효과 확인
  - 수열원 히트펌프 시스템과 펄릿보일러 연계운전 실증 및 융복합 운전방안 도출
  - 분야별 공통기능 표준화 및 경제성 분석
  
- [바이오설비 융복합 및 온실 에너지 관리] 부문 연구개발 성과  
(수행기관: 한국에너지기술연구원)
  - 전체 융복합 재생에너지 운영 검증과 온실공급 열량측정을 통한 성능 실증
  - 바이오 설비 및 복사 난방튜브 구축과 온실 열환경 연계 성능검증
  - 온실 에너지흐름 DBMS 구축 및 사용자 인터페이스 플랫폼 구축
  
- [열 환경 정밀 모니터링] 부문 연구개발 성과  
(수행기관: 숙명여자대학교)
  - 저가형 정밀 센서시스템 고도화 기반 생육 열환경 정밀 모니터링 및 균일화 제어 실증
  - 실증테스트 기반 제품 고도화 설계 및 개선 시스템 제작
  - 온실 실증을 통한 고도화 시스템 적용 타당성 검증
  - 실제 온실 보급 및 상용화를 위한 현장 실증 데이터 기반 최소 표준 사양 수립
  - 상용화 보급 적용을 위한 현장 실증 성능평가 기반 상용화 모델 수립
  
- [생육 최적관리] 부문 연구개발 성과 (수행기관: 전라북도농업기술원)
  - 축열 시스템 도입에 따른 동절기 미세 기상환경 조사와 생산성 검정
  - 냉방 제습에 의한 하절기 미세기생육 및 생산성 검정
  - 실증 온실의 전체적인 생육과 생산성 균일도 조사

(2) 정성적 연구개발 진행경과 (요약)

1단계 1차년 프로젝트 관리 마일스톤 (2020년)									
2020년	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	
전체회의		과제착수 회의			진도점검 회의			연차보고서 작성회의	
세미나/기술교류			정밀농업과 스마트팜	스마트팜과 식물공장		스마트팜과 빅데이터	농업기술의 미래		
[연구#1] 온실 냉난방	초안제안	모사장치 설계/해석	모사장치 제작	모사실험	성능평가	설계제안	연차보고서, 자년계획서 작성	연차보고서, 자년계획서 수정	
[연구#2] 팻릿 보일러	제품조사, 제조사방문	설치온실 운용분석	보일러 구매/설치	팻릿특성 비교분석	보일러 성능실험	설치제안	연차보고서, 자년계획서 작성	연차보고서, 자년계획서 수정	
[연구#3] 열펌프 제어	초안제안	하전수수질 조사준비	실증사이트 환경조사	실증사이트 환경조사	수열원융합 시스템구성	수질처리 장치 제안	연차보고서, 자년계획서 작성	연차보고서, 자년계획서 수정	
대외발표/홍보	언론(Khan) 인터뷰	작물학회/설비학회 (세종대,경창)	농경제/기계학회 (서울대,강남)	신재생 에너지학회 (부산, 해운대)		농기계학회 (예정)	에너지/원예 학회 (여수,온라인)	설비/기계 학회(예정)	
특허/논문		국내출원 (1건)		특허조사 (온실냉난방)		국내출원 (1건)		논문투고 (1건)	



**1차년 과제착수회의**  
(2020년 06월 04일)  
광주과학기술진흥원



**외부 전문가 자문**  
(2020년 07월 02일)  
한국에너지기술연구원(KIER)



**실증후보지 탐색**  
(2020년 하반기)  
전국 40여 곳 방문조사



**수리지질조사/양수실험**  
(2020년 하반기)  
유력 후보지 10여 곳 시추



**실증온실 선정토론**  
(2021년 01월 20일)  
한국에너지기술연구원(KIER)



**실증(유력)후보지 선정**  
(2021년 2월)  
전북 완주 장거리 청운농원

## 1단계 2차년 프로젝트 관리 마일스톤 (2021년)

2021년	1~2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
전체회의	착수회의 (전북도원 2월18일 목)		ATES설명회 (경운농원 4월14일 수)		전체회의 (완주문화원 6월22일 화)			기술심의회 (w/ 지자체 GNS 선도리 9월15일 수)		전체회의 (완주문화원 11월9일 화)	2차년과제 단계평가 (11월 말)
세미나						스마트팜과 빅데이터 (영덕면스, KETL 7월8일 목)			전연종종 종합관리 (전남대 구강교 10월14일 목)		
ATES	완주온실 전립조사 (1월28일 금)	온실수리 지질조사 (3월16일 화)	ATES 작공설명회 (4월14일 수)	ATES 본공작공 (5월17일 월)	ATES 완공및시험 (6월7일 월)	ATES 평가완료 (7월2일 금)			ATES 본공 수일조사 (10월20일 수)	ATES 보조공공사 (11월 중)	
기계실					기계실착공 (6월28일 월)	기계실완공 (7월23일 금)		기계설비 시공협의 (9월2일 목)	플릿보일러 설치 (10월19일 화)	기계실 배관연결 (11월19일 금)	전기공사, 자동제어공사 (12월 말)
온실공조		온실공조 개념제시 (3월31일 수)	온실공조 CFD해석 (4월17일 목)	온실공조 사례조사 (5월20일 목)	온실공조 현장발문 (6월 9일 수)	온실공조 설계협의 (7월2일 금)		온실공조기 시공협의 (9월8일 수)	온실공조기 설지착수 (10월6일 수)	온실공조기 설지완료 (11월19일 금)	
생육환경 모니터링	온습도센서 설치 (2월5일 금)		기상센서 설치 (4월28일 수)	전력센서 설치 (5월13일 목)							
논문,특허 보고서	지중열배관 특허출원 (1월6일 수)		지도학회 (4월22~23 일, 경주)	기계학회 열공학부문 (5월26~28 일, 제주)	설비학회 (6월22~25 일, 평창)	신재생 에너지학회 (7월13~14 일, 여수)	기계학회발표 유계공학부문 (8월18일 수, On-line)		농기계학회 발표 (10월29일 금, 제주)	단계평가 보고서제출 (11월16일 화, 경기)	



**2차년 과제착수회의**  
(2021년02월18일)  
전북농업기술원 익산본원



**실증후보지 MOU 체결**  
(2021년03월04일)  
전북 완주 장거리 청운농원



**ATES 시추 및 본공 구축**  
(2021년 상반기)  
(주)GNS 및 지질자원연구원



**1차 진도점검회의**  
(2021년06월22일)  
완주 가족문화교육원



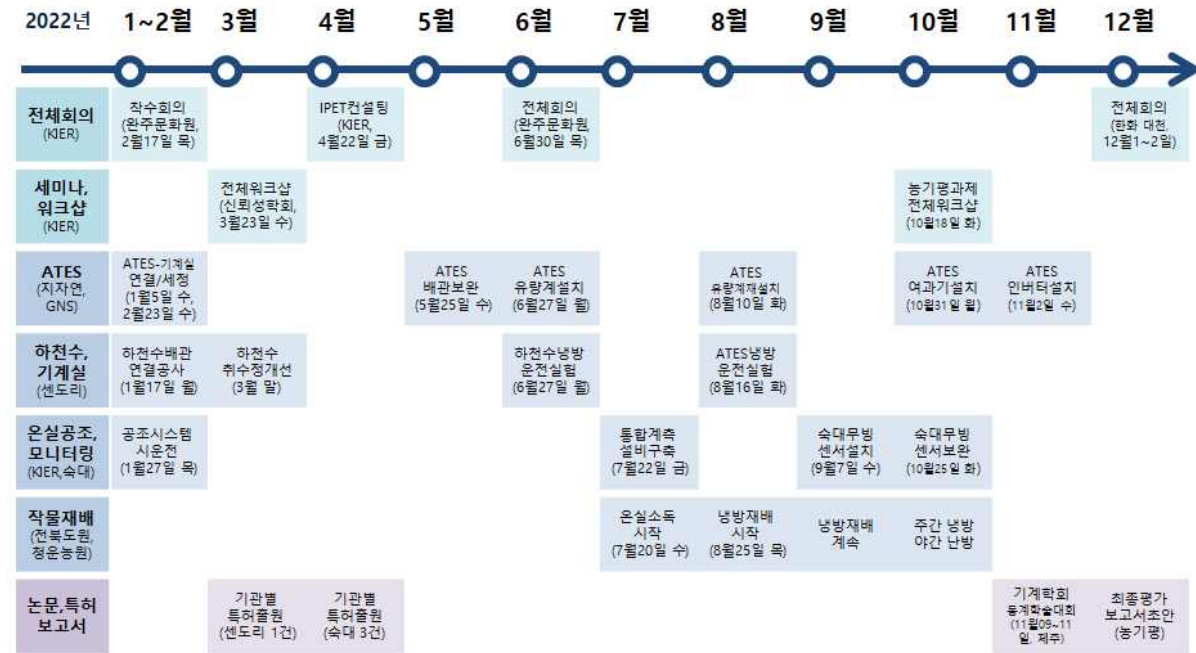
**기계실 및 온실공조설비 구축**  
(2021년 하반기)  
(주)센도리 및 KIER



**2차 진도점검회의**  
(2021년11월09일)  
완주 가족문화교육원



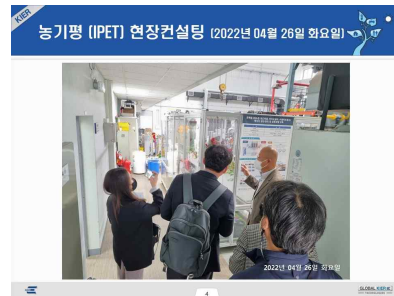
## 2단계 1차년 프로젝트 관리 마일스톤 (2022년)



**3차년 과제 착수회의**  
(2022년 02월 17일)  
완주가족문화교육원 및 청운농원



**실증온실 낭방 시운전**  
(2022년 03월 17일)  
전북 완주 장거리 청운농원



**농기평(IPET) 과제컨설팅**  
(2022년 04월 26일)  
한국에너지기술연구원



**진도점검회의**  
(2022년 06월 30일)  
완주 가족문화교육원



**고부가 작물 재배 시험**  
(2022년 10월 21일)  
전북도원 및 청운농원



**과제종료워크샵**  
(2022년 12월 01일)  
한화리조트 대천 파로스

(3) 정량적 연구개발성과 (연구개발과제의 특성에 따라 수정)

< 정량적 연구개발성과표 >

(단위 : 건, 천원)

성과지표명			연도	1단계 (2020~2021)	2단계 (2022~2022)	계	가중치 (%)
전담기관 등록·기탁 지표 <sup>1)</sup>	특허출원	목표(단계별)		3	2	5	50
		실적(누적)		3	6	9	180% (초과달성)
	학회발표	목표(단계별)		4	3	7	50
		실적(누적)		6	3	9	128% (초과달성)
연구개발과제 특성 반영 지표 <sup>2)</sup>	고용창출	목표(단계별)		3	2	5	50
		실적(누적)		9	3	12	240% (초과달성)
	홍보전시	목표(단계별)		1	0	1	50
		실적(누적)		6	6	12	1200% (초과달성)
계							

- \* 1) 전담기관 등록·기탁 지표: 논문[에스시아이 Expanded(SCIE), 비SCIE, 평균Impact Factor(IF)], 특허, 보고서원문, 연구시설·장비, 기술요약정보, 저작권(소프트웨어, 서적 등), 생명자원(생명정보, 생물자원), 표준화(국내, 국제), 화합물, 신제품 등을 말하며, 논문, 학술발표, 특허의 경우 목표 대비 실적은 기재하지 않아도 됩니다.
- \* 2) 연구개발과제 특성 반영 지표: 기술실시(이전), 기술료, 사업화(투자실적, 제품화, 매출액, 수출액, 고용창출, 고용효과, 투자유치), 비용 절감, 기술(제품)인증, 시제품 제작 및 인증, 신기술지정, 무역수지개선, 경제적 파급효과, 산업지원(기술지도), 교육지도, 인력양성(전문 연구인력, 산업연구인력, 졸업자수, 취업, 연수프로그램 등), 법령 반영, 정책활용, 실제 기준 반영, 타 연구개발사업에의 활용, 기술무역, 홍보(전시), 국제화 협력, 포상 및 수상, 기타 연구개발 활용 중 선택하여 기재합니다 (연구개발과제 특성별로 고유한 성과지표를 추가할 수 있습니다).

(4) 세부 정량적 연구개발성과 (증빙자료 별도 첨부 및 fris.go.kr 업로드 완료)

[과학적 성과]

□ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	대수층 계간 축열시스템 적용을 위한 지하수의 화학적 특성 변화	지하수 토양환경	최한나	26(3)	대한민국	한국지하수 토양환경 학회	비SCIE	2021년 8월31일 (화)	1598-6438	100
2	Open-source IoT monitoring system of a shallow geothermal system for heating and cooling year-round in Korea	Energy	박찬희	250	영국	Elsevier Ltd.	SCIE	2022년 7월1일 (금)	0360-5442	50

[증빙자료: 전문 학술지]

J. Soil Groundwater Environ., Vol. 26(3), p. 14-24, 2021  
<https://doi.org/10.7857/SJGE.2021.26.3.014>  
 ISSN 1598-6438 (Print), ISSN 2287-4831 (Online)

**대수층 계간 축열시스템 적용을 위한 지하수의 화학적 특성 변화**

최한나\* · 이홍진 · 심병환  
 한국지하수토양환경학회

**The Influences of Aquifer Thermal Energy Storage (ATES) System on Geochemical Properties of Groundwater**

Hanna Choi\* · Hong-Jin Lee · Byoung Ohan Shim  
 Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 34132, Korea

**ABSTRACT**

Aquifer thermal energy storage (ATES) system uses groundwater thermal energy for cooling and heating of buildings, and it is also often utilized to provide warm water to crops and plants for the purpose of enhancing agricultural yields. This study investigated the potential influences of a ATES system on the geochemical properties of groundwater by simulating the variation of hydrochemistry and saturation index of groundwater during ATES operation. The test bed was installed at an agricultural field, which is mainly composed of an groundwater-rich alluvial plain. The simulation results showed no significant precipitation of mineral phases such as manganese-iron oxide, carbonate and sulfate around the ATES test bed, as well as no deterioration of other important water quality parameters. The implementation of ATES system in the study area was appropriate and effective for utilizing the thermal energy of groundwater for agricultural use.

**Key words:** Aquifer thermal energy storage (ATES), Agricultural usage, Saturation index, Temperature fluctuation, Water quality degradation

**1. 서 론**

기후변화 완화를 위한 국제외의 이산화탄소 배출저감 노력이 이어지는 가운데 화석연료를 대체할 차원으로 신재생에너지에 대한 관심이 높아지고 있다(Mohanty, 2012; Omasu and Asanudo-Satohda, 2016). 신재생에너지의 화석연료 주무연료인 대수층 계간 축열(ATES, Aquifer Thermal Energy Storage)시스템은 중적대수층의 축열 에너지를 활용하여 하절기에 방열공전을 하고, 동절기에 난방을 수행하는 열안정 시스템이다(Bhoonondal et al., 2015; Nielsen and Sorensen, 2016; Bhoonondal and Othman, 2018). 중적대수층 계간 축열시스템은 양수정과 주저자 최한나, 심병환  
 공저자: 이홍진, 최영민, 심병환, 최영민  
 \*E-mail: hchoi@kigam.ac.kr  
 Received: 2021.05.12 Reviewed: 2021.05.15  
 Accepted: 2021.05.31 Discussion url: 2021.8.31

Energy 230 (2022) 123792

Contents lists available at ScienceDirect  
**Energy**  
 journal homepage: www.elsevier.com/locate/energy

**Open-source IoT monitoring system of a shallow geothermal system for heating and cooling year-round in Korea**

Chan-Hee Park, Byoung Ohan Shim, Jung-Wook Park\*  
 Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM), 124 Gwahak-ro, Yuseong-gu, Daejeon, 34132, Republic of Korea

**ARTICLE INFO**

Article history:  
 Received 19 April 2021  
 Received in revised form 4 February 2022  
 Accepted 10 March 2022  
 Available online 19 March 2022

**Keywords:**  
 Open source  
 Geothermal  
 Monitoring

**ABSTRACT**

We developed a geothermal monitoring system with an open-source Internet of Things (IoT) system. The study's objective is to achieve an economical alternative solution to the expensive commercial data loggers, local PC-based control, data storage limitation, the number of sensor connections, and secure data transmission over the Internet in a decentralized renewable energy system. The developed system consists of hardware and software customized with open-source support that helps resolve the conventional limitations that the commercial system inherently has. We have applied the system to a geothermal energy system deployed at a residential care facility for the elderly in Chungcheong, South Korea. The proposed system enabled us to acquire the data of temperature and fluid flow in real-time and for a prolonged period (i.e., years) at an affordable price compared to installing a conventional data-acquisition system. The real-time multi-pipe-long data helped confirm seasonality in heating and cooling. We can also apply the same proposed system to the other renewable energy system monitoring (temperature, pressure, wind speed, displacement, noise, seismicity, etc.).

© 2022 The Authors. Published by Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

**1. Introduction**

Carbon consumption mainly consists of three sectors: heating and cooling, transport, and electricity. Of these three sectors, heating and cooling is the most significant energy demand accounting for 20% of the total energy demand in the EU [1]. As a solution to heating and cooling, renewable energy is an alternative to fossil fuel energy to reduce carbon consumption almost down to zero. The power supply has been a central system regardless of energy sources due to the high cost of infrastructure. The types of energy sources consist of two production methods, either centralized or distributed. In general, energy sources from fossil fuels are central to massive production. In contrast, renewable and sustainable energy sources such as photovoltaic or wind or hydraulic or geothermal energy can be local and distributed way of production. In some cases, renewable energy can be small-sized to the level of an individual.

Among renewable energy solutions, geothermal energy is a stable form of energy extracted from the ground via boreholes [2]. Whether individual or community utilizes the geothermal energy to meet the demand for heating or cooling separately in need of South Korea, balancing heating in winter and cooling in summer helps stabilize the ground energy source for an extended period [3].

In achieving the ecological and economic sustainability, monitoring technology is of paramount importance. Hunt [4] demonstrated the importance of routine monitoring of geothermal fields both before and during exploitation. Viencen et al. [5] showed that accumulation of shallow geothermal users or a long operation period influences the importance of monitoring systems for detecting the environmental risks from the development of thermal energy. In terms of the operation and maintenance of the geothermal system, the monitoring data also enables real-time analysis of the system's efficiency and reliability [7].

However, many renewable energy plants (including the geothermal energy) are deployed into operation with no monitoring system to evaluate the performance over a long period [6]. The monitoring systems require custom-designed printed circuit board (PCBs) or computers that cost so significant that an individual is not merely able to afford. Eventually, the individual leans back to the central system due to the initial cost barrier. Due to the elaborate monitoring system's high cost, data acquisition and online monitoring systems have been used in central power plants [8]. Therefore, the cost limitation is not appropriate for small, distributed

\* Corresponding author.  
 E-mail address: jwpark@kigam.ac.kr (J.-W. Park).

<https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123792>  
 0195-6464/© 2022 The Authors. Published by Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

전문 학술지 1  
(2021년 08월 31일)

전문 학술지 2  
(2022년 07월 01일)







[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	공개 번호	등록인	등록일	등록 번호		
1	공기막 효과를 이용한 고형배지재배 냉난방장치 및 냉난방방법	대한민국	한국 에너지 기술 연구원	2020년 07월 03일(금)	10-2020 -008189 2					100%	
2	융복합 에너지생산과 저장기술을 이용한 온실 에너지공급 시스템 및 방법	대한민국	한국 에너지 기술 연구원	2021년 01월 06일(수)	10-2021 -000133 9					100%	
3	대수층 계간축열을 위한 지열정	대한민국	(주)지엔 에스엔지 니어링	2021년 11월 09일(화)	10-2021 -015285 0					100%	
4	효율향상을 위한 지열히트펌프시스템	대한민국	(주)센도 리	2022년 03월 02일(수)	10-2022 -002705 2					100%	
5	무빙 센싱장치 및 이를 이용한 재배 관리시스템	대한민국	숙명여자 대학교 산학협력 단	2022년 04월 25일(월)	10-2022 -005065 1					100%	
6	유체송풍수단을 구비한 무빙 센싱장치 및 이를 이용한 재배 관리시스템	대한민국	숙명여자 대학교 산학협력 단	2022년 04월 25일(월)	10-2022 -005065 5					100%	
7	센싱부승강수단을 구비한 무빙 센싱장치 및 이를 이용한 재배 관리시스템	대한민국	숙명여자 대학교 산학협력 단	2022년 04월 25일(월)	10-2022 -005065 7					100%	
8	층적대수층 이용 계절간 축열냉난방시스템의 배관장치	대한민국	(주)지엔 에스엔지 니어링	2023년 01월 27일(금)	10-2023 -001065 7					100%	
9	층적대수층 이용 계절간 축열냉난방시스템의 환수장치	대한민국	(주)지엔 에스엔지 니어링	2023년 01월 27일(금)	10-2023 -001065 8					100%	
10	무빙 센싱장치 및 이를 이용한 재배 관리시스템	PCT	숙명여자 대학교 산학협력 단	2022년 12월 07일(수)	PCT/KR 2022/01 9071					100%	
11	공기막 효과를 이용한 고형배지재배 냉난방장치 및 냉난방방법	대한민국	한국 에너지 기술 연구원	2020년 7월 3일(금)	10-2020 -008189 2	10-2022 -000486 8	한국 에너지 기술 연구원	2022년 08월 31일(수)	10-2439 899	100%	

○ 지식재산권 활용 유형

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

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



**특허협력조약**  
(PATENT COOPERATION TREATY)  
PCT/KR2022019071

발출국의 명칭  
특허청  
대한민국 남산  
출원번호 02213 서울특별지 출원구 제본출원일 22.08.02

**PCT**  
국제출원번호 및 국제출원일 통지서  
(PCT 규정 제 28.3.0)

출원일 2022년 12월 07일 (07.12.2022)	출원주요사항
출원번호 PCT/KR2022019071	국제출원일 (출원일) 2022년 11월 29일 (29.11.2022)
출원일 2022년 11월 29일 (29.11.2022)	국제출원일 (출원일) 2022년 11월 29일 (29.11.2022)
출원일 2022년 11월 29일 (29.11.2022)	국제출원일 (출원일) 2022년 11월 29일 (29.11.2022)

발명의 명칭  
무명 색상상지 및 이를 이용한 교체 관리시스템

1. 이 국제출원서에 기재된 발명에 대한 국제출원권은 본 출원일로부터 국제출원일 이후부터 시작됩니다.  
2. 이 국제출원서에 기재된 발명은:  
 ( ) 발명권 보호를 받습니다.  
 ( ) 발명권 보호를 받지 않습니다.  
 ( ) 발명권 보호를 받지만, 이 국제출원서에 기재된 발명에 대한 발명권 보호를 받지 않습니다.  
 ( ) 발명권 보호를 받지만, 이 국제출원서에 기재된 발명에 대한 발명권 보호를 받지 않습니다.  
 ( ) 발명권 보호를 받지만, 이 국제출원서에 기재된 발명에 대한 발명권 보호를 받지 않습니다.  
 ( ) 발명권 보호를 받지만, 이 국제출원서에 기재된 발명에 대한 발명권 보호를 받지 않습니다.

특허청장  
이인신

**국제특허(PCT)출원 1**  
(2022년12월07일)

**특허증**  
CERTIFICATE OF PATENT

특허 제 10-2439899 호  
Patent Number 제 10-2020-0081892 호

출원번호 제 10-2020-0081892 호  
Application Number 2020년 07월 09일  
Filing Date 2022년 06월 31일  
Registration Date

발명의 명칭 Title of the Invention  
중가치 효과를 이용한 고품배지재에 난방장치 및 난방방법

특허권자 Inventor  
한국에너지기술연구원(160122-\*\*\*\*\*)  
대전광역시 유성구 가인로 152(강동)

발명자 Inventor  
등록사함에 기재

위의 발명은 「특허법」에 따라 특허원부에 등록되었음을 증명합니다.  
This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention has been registered at the Korean Intellectual Property Office.

2022년 08월 31일  
특허청장  
COMMISSIONER  
KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE  
이인신

**국내특허등록 1**  
(2022년08월31일)

**특허증**  
CERTIFICATE OF PATENT

특허 제 10-2505948 호  
Patent Number 제 10-2022-0027052 호

출원번호 제 10-2022-0027052 호  
Application Number 2022년 03월 02일  
Filing Date 2023년 02월 27일  
Registration Date

발명의 명칭 Title of the Invention  
표출향상을 위한 지열히트펌프시스템

특허권자 Inventor  
유한테크연구소 센도리(10115-\*\*\*\*\*)  
서울특별시 금천구 가산디지털1로 168, 제4-8층 804호(가산동, 우정리온스텔라)

발명자 Inventor  
박문수(10115-\*\*\*\*\*)  
광주 북구 영산로71번길 10, 102동 702호 (영산동, GS그린저이(지아베))

위의 발명은 「특허법」에 따라 특허원부에 등록되었음을 증명합니다.  
This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention has been registered at the Korean Intellectual Property Office.

2023년 02월 27일  
특허청장  
COMMISSIONER  
KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE  
이인신

**국내특허등록 2**  
(2023년02월27일)



[경제적 성과]

□ 사업화 현황

번호	사업화 방식 <sup>1)</sup>	사업화 형태 <sup>2)</sup>	지역 <sup>3)</sup>	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (원)	국외 (달러)		
1	자기실시	기존제품개선	광주	ESCO	전남대 생활관	센도리	9.9억	-	2021.2월	7년

□ 매출 실적(누적)

사업화명	발생 연도	매출액		합계 (천원)	산정 방법
		국내(천원)	국외(달러)		
전대 생활관 8동 에너지절약사업	2021년	999,000	-	999,000	별첨 참조
합계		999,000			

□ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과 (협동기관 중 영리기업 해당)

성과 (지엔에스엔지니어링)		총적대수층 이용 계절간 축열냉난방 시스템 설계 및 구축			
사업화 계획	사업화 소요기간(년)	3년			
	소요예산(천원)	2,191,668			
	예상 매출규모(천원)	현재까지	3년 후	5년 후	
		-	400,000	1,200,000	
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
국내			0.02	0.17	0.2
국외			-	-	-
향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획		계절간 축열냉난방 시스템을 위한 배관 및 환수장치 시스템			
무역 수지 개선 효과 (천원)	수입대체(내수)	현재	3년 후	5년 후	
	수출	-	-	-	

성과 (센도리)		총적대수층 연계 수열 히트펌프 시스템 설계 및 구축			
사업화 계획	사업화 소요기간(년)	2년 (2023년 7월 사업화)			
	소요예산(천원)	2,530,240			
	예상 매출규모(천원)	현재까지	3년 후	5년 후	
		999,000	5,000,000	10,000,000	
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
국내			0.02	0.15	0.2
국외			-	-	-
향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획		자동 여과세정장치 연계 시스템			
무역 수지 개선 효과 (천원)	수입대체(내수)	현재	3년 후	5년 후	
	수출	-	-	-	

[증빙자료: 사업화]

<첨부> 농림축산식품 연구개발과제 제품출시 확인서

과제명	농림축산식품 연구개발과제(비교대상, 수열히트펌프) 에너지 생산·관리 및 절감사업 구축
주관연구기관	한국에너지기술연구원
연구책임자	오영석
총개발예산	5,500,000,000 원
개발 기술의 제품출시 유형	제품출시
시제품(제품출시 예정)	( )
신제품(제품출시 완료)	( )

제품출시 실적

제품명	제품사양	제품용도	개발/출시 시기	개발/출시 실적(제품출시 기율%)
수열 히트펌프 시스템	수열 히트펌프 시스템	2021년 11월	67.35%	

2021년 11월 12일  
연구책임자: 김 경 수 (서명)

<첨부> 농림축산식품 연구개발과제 매출 확인서

과제명	농림축산식품 연구개발과제(비교대상, 수열히트펌프) 에너지 생산·관리 및 절감사업 구축
주관연구기관	한국에너지기술연구원
연구책임자	오영석
개발 실적	기업 매출 총액: 999,680,000 원 (특허 ) , (중재 ) , (소프트웨어 ) , 디자인 ) , 상표 ( ) , 기타(매출 제외 )
관련 실적	발명(명수): 수열 히트펌프 시스템 기술실시 현황: -

매출 실적

제품명	제품사양	매출액(원)	개발/출시 실적(제품출시 기율%)
수열 히트펌프 시스템	수열 히트펌프 시스템	999,680,000 원	67.35%

2021년 11월 12일  
연구책임자: 김 경 수 (서명)

[별지 제1호 서식] ESCO투자사업 청계화정 표조계역사(제3호 제8호 원본)

과제명	ESCO투자사업 청계화정 표조계역사(제3호 제8호 원본)
주관연구기관	한국에너지기술연구원
연구책임자	오영석
개발 실적	기업 매출 총액: 999,680,000 원 (특허 ) , (중재 ) , (소프트웨어 ) , 디자인 ) , 상표 ( ) , 기타(매출 제외 )
관련 실적	발명(명수): 수열 히트펌프 시스템 기술실시 현황: -

매출 실적

제품명	제품사양	매출액(원)	개발/출시 실적(제품출시 기율%)
수열 히트펌프 시스템	수열 히트펌프 시스템	999,680,000 원	67.35%

2021년 11월 12일  
연구책임자: 김 경 수 (서명)

제품출시 확인서  
(2021년11월12일)

매출 확인서  
(2021년11월12일)

매출 증빙자료  
(2021년11월12일)



[증빙자료: 고용]

등록일자: 2021.11.03 11:03

### 4대 사회보험 사업장 가입자 명부

발급번호: 20211103403157    발급일자: 2021-11-03 11:01    사업장 관리번호: 31781229010

구분	국민연금	건강보험	산재보험	고용보험
사업장등록번호	31781-22901	31781-22901	31781-22901	31781-22901
사업장명칭	주식회사 (주)에이치이아이티			

■ 가입 내역(업종 및 한계기간)

연번	주요(업종명) / 종속(업종명)	성명	직 계 속 특 징			
			국민연금	건강보험	산재보험	고용보험
1	510123-1*****	이영호	2021.08.01			
2	730416-1*****	이우호	2021.07.01	2021.07.01	2021.07.01	2021.07.01
3	750201-1*****	손병호	2019.02.12	2019.02.12	2019.02.12	2019.02.12
4	750512-1*****	황기섭	2016.01.22	2016.01.22	2016.01.22	2016.02.01
5	750924-1*****	박성민	2011.06.01	2011.06.01		
6	751227-1*****	박정환	2021.07.20	2021.07.20	2021.07.20	2021.07.20
7	771216-1*****	윤승일	2018.03.13	2018.03.13	2018.03.13	2018.03.13
8	780217-1*****	유영선	2017.01.31	2017.01.31	2017.01.31	2017.01.31
9	780726-2*****	고선자	2020.05.28	2020.05.28		
10	790428-1*****	윤대근	2021.08.01	2021.08.01	2021.08.01	2021.08.01
11	791013-1*****	유영환	2021.08.01	2021.08.01	2021.08.01	2021.08.01
12	820321-1*****	이영준	2021.11.01	2021.11.01	2021.11.01	2021.11.01
13	850701-1*****	조영삼	2021.02.01	2021.02.01	2021.02.01	2021.02.01
14	890602-1*****	양동호	2020.06.01	2020.06.01	2020.06.01	2020.06.01
15	890620-2*****	최희준	2019.06.17	2019.06.17	2019.06.17	2019.06.17
16	910213-2*****	김현복	2021.07.01	2021.07.01	2021.07.01	2021.07.01
17	910725-2*****	유근희	2020.03.01	2020.03.01	2020.03.01	2020.03.01
18	970217-1*****	이철원	2020.12.01	2020.12.01	2020.12.01	2020.12.01

고용창출 7. 조영삼  
(2021년 02월 01일)

등록일자: 2021.11.03 11:03

### 4대 사회보험 사업장 가입자 명부

발급번호: 20211103403157    발급일자: 2021-11-03 11:01    사업장 관리번호: 31781229010

구분	국민연금	건강보험	산재보험	고용보험
사업장등록번호	31781-22901	31781-22901	31781-22901	31781-22901
사업장명칭	주식회사 (주)에이치이아이티			

■ 가입 내역(업종 및 한계기간)

연번	주요(업종명) / 종속(업종명)	성명	직 계 속 특 징			
			국민연금	건강보험	산재보험	고용보험
1	510123-1*****	이영호	2021.08.01			
2	730416-1*****	이우호	2021.07.01	2021.07.01	2021.07.01	2021.07.01
3	750201-1*****	손병호	2019.02.12	2019.02.12	2019.02.12	2019.02.12
4	750512-1*****	황기섭	2016.01.22	2016.01.22	2016.01.22	2016.02.01
5	750924-1*****	박성민	2011.06.01	2011.06.01		
6	751227-1*****	박정환	2021.07.20	2021.07.20	2021.07.20	2021.07.20
7	771216-1*****	윤승일	2018.03.13	2018.03.13	2018.03.13	2018.03.13
8	780217-1*****	유영선	2017.01.31	2017.01.31	2017.01.31	2017.01.31
9	780726-2*****	고선자	2020.05.28	2020.05.28		
10	790428-1*****	윤대근	2021.08.01	2021.08.01	2021.08.01	2021.08.01
11	791013-1*****	유영환	2021.08.01	2021.08.01	2021.08.01	2021.08.01
12	820321-1*****	이영준	2021.11.01	2021.11.01	2021.11.01	2021.11.01
13	850701-1*****	조영삼	2021.02.01	2021.02.01	2021.02.01	2021.02.01
14	890602-1*****	양동호	2020.06.01	2020.06.01	2020.06.01	2020.06.01
15	890620-2*****	최희준	2019.06.17	2019.06.17	2019.06.17	2019.06.17
16	910213-2*****	김현복	2021.07.01	2021.07.01	2021.07.01	2021.07.01
17	910725-2*****	유근희	2020.03.01	2020.03.01	2020.03.01	2020.03.01
18	970217-1*****	이철원	2020.12.01	2020.12.01	2020.12.01	2020.12.01

고용창출 8. 장목화  
(2021년 07월 01일)

등록일자: 2021.11.10 10:20

### 4대 사회보험 사업장 가입자 명부

발급번호: 20211110453170    발급일자: 2021-11-11 10:20    사업장 관리번호: 79085011520

구분	국민연금	건강보험	산재보험	고용보험
사업장등록번호	7908-05-01152	7908-05-01152	7908-05-01152	7908-05-01152
사업장명칭	(주)에이치이아이티			

■ 가입 내역(업종 및 한계기간)

연번	주요(업종명) / 종속(업종명)	성명	직 계 속 특 징			
			국민연금	건강보험	산재보험	고용보험
1	540509-1*****	이영호	2021.07.27	2021.07.27	2021.07.27	2021.07.27
2	680316-2*****	김영선	2021.09.06	2021.09.06	2021.09.06	2021.09.06
3	700625-1*****	박정호	2021.03.01	2021.03.01		
4	770423-1*****	한재호		2021.06.08		
5	830429-1*****	신진규				2019.06.01
6	850518-1*****	김희호	2021.10.01	2021.10.01	2021.10.01	2021.10.01
7	950304-1*****	최복	2021.10.28	2021.10.28	2021.10.28	2021.10.28

고용창출 9. 최복  
(2021년 10월 28일)

등록일자: 2022.10.26 10:07 2 / 3

■ 가입 내역(업종 및 한계기간)

연번	주요(업종명) / 종속(업종명)	성명	직 계 속 특 징			
			국민연금	건강보험	산재보험	고용보험
21	750304-1*****	양동호	2020.10.19	2020.10.19	2020.10.19	2020.10.19
22	770423-1*****	한재호	2018.05.31	2018.05.31		2018.02.11
23	790206-1*****	이영호	2019.09.01	2019.09.01	2019.12.01	2020.12.01
24	800603-1*****	정철원	2021.11.01	2021.11.01	2021.11.01	2021.11.01
25	812229-1*****	김정환	2021.02.09	2021.02.09	2017.05.23	2017.05.23
26	830426-1*****	신진규	2019.05.13	2019.05.13		
27	830819-1*****	김정환	2019.09.01	2019.09.01	2019.01.02	2019.01.02
28	860515-1*****	양동호	2018.03.01	2018.03.01	2016.12.01	2016.12.01
29	870329-1*****	김정환	2022.02.04	2022.02.04	2022.02.04	2022.02.04
30	870509-2*****	정철원	2022.05.02	2022.05.02	2022.05.02	2022.05.02
31	870910-1*****	김정환	2020.01.08	2020.01.08	2020.01.08	2020.01.08
32	880515-1*****	김정환	2022.08.08	2022.08.08	2022.08.08	2022.08.08
33	890430-1*****	김정호	2018.06.29	2018.06.29	2018.06.29	2018.06.29
34	900402-1*****	김정환	2019.08.05	2019.08.05	2019.08.05	2019.08.05
35	900806-2*****	정철원	2022.02.07	2022.02.07	2022.02.07	2022.02.07
36	911014-1*****	김정환	2022.01.10	2022.01.10	2022.01.10	2022.01.10
37	950601-1*****	이우호	2022.01.10	2022.01.10	2022.01.10	2022.01.10
38	950125-1*****	윤재민	2022.05.02	2022.05.02	2022.05.02	2022.05.02
39	981222-2*****	정철원	2021.11.01	2021.11.01	2021.11.01	2021.11.01
40	990711-2*****	김정환	2022.09.01	2022.09.01	2022.09.01	2022.09.01

고용창출 10. 김영찬  
(2022년 01월 10일)

등록일자: 2022.10.26 10:07 2 / 3

■ 가입 내역(업종 및 한계기간)

연번	주요(업종명) / 종속(업종명)	성명	직 계 속 특 징			
			국민연금	건강보험	산재보험	고용보험
21	750304-1*****	양동호	2020.10.19	2020.10.19	2020.10.19	2020.10.19
22	770423-1*****	한재호	2018.05.31	2018.05.31		2018.02.11
23	790206-1*****	이영호	2019.09.01	2019.09.01	2019.12.01	2020.12.01
24	800603-1*****	정철원	2021.11.01	2021.11.01	2021.11.01	2021.11.01
25	812229-1*****	김정환	2021.02.09	2021.02.09	2017.05.23	2017.05.23
26	830426-1*****	신진규	2019.05.13	2019.05.13		
27	830819-1*****	김정환	2019.09.01	2019.09.01	2019.01.02	2019.01.02
28	860515-1*****	양동호	2018.03.01	2018.03.01	2016.12.01	2016.12.01
29	870329-1*****	김정환	2022.02.04	2022.02.04	2022.02.04	2022.02.04
30	870509-2*****	정철원	2022.05.02	2022.05.02	2022.05.02	2022.05.02
31	870910-1*****	김정환	2020.01.08	2020.01.08	2020.01.08	2020.01.08
32	880515-1*****	김정환	2022.08.08	2022.08.08	2022.08.08	2022.08.08
33	890430-1*****	김정호	2018.06.29	2018.06.29	2018.06.29	2018.06.29
34	900402-1*****	김정환	2019.08.05	2019.08.05	2019.08.05	2019.08.05
35	900806-2*****	정철원	2022.02.07	2022.02.07	2022.02.07	2022.02.07
36	911014-1*****	김정환	2022.01.10	2022.01.10	2022.01.10	2022.01.10
37	950601-1*****	이우호	2022.01.10	2022.01.10	2022.01.10	2022.01.10
38	950125-1*****	윤재민	2022.05.02	2022.05.02	2022.05.02	2022.05.02
39	981222-2*****	정철원	2021.11.01	2021.11.01	2021.11.01	2021.11.01
40	990711-2*****	김정환	2022.09.01	2022.09.01	2022.09.01	2022.09.01

고용창출 11. 이진수  
(2022년 01월 10일)

등록일자: 2022.10.26 10:07 2 / 3

■ 가입 내역(업종 및 한계기간)

연번	주요(업종명) / 종속(업종명)	성명	직 계 속 특 징			
			국민연금	건강보험	산재보험	고용보험
31	870910-1*****	김정환	2020.01.08	2020.01.08	2020.01.08	2020.01.08
32	880515-1*****	김정환	2022.08.08	2022.08.08	2022.08.08	2022.08.08
33	890430-1*****	김정호	2018.06.29	2018.06.29	2018.06.29	2018.06.29
34	900402-1*****	김정환	2019.08.05	2019.08.05	2019.08.05	2019.08.05
35	900806-2*****	정철원	2022.02.07	2022.02.07	2022.02.07	2022.02.07
36	911014-1*****	김정환	2022.01.10	2022.01.10	2022.01.10	2022.01.10
37	950601-1*****	이우호	2022.01.10	2022.01.10	2022.01.10	2022.01.10
38	950125-1*****	윤재민	2022.05.02	2022.05.02	2022.05.02	2022.05.02
39	981222-2*****	정철원	2021.11.01	2021.11.01	2021.11.01	2021.11.01
40	990711-2*****	김정환	2022.09.01	2022.09.01	2022.09.01	2022.09.01

고용창출 12. 정성아  
(2022년 05월 02일)






## □ 전시회 참가

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일
1	전시회 참가	2021 한국지하수토양환경학회 춘계 학술대회 전시회	대수층 계간축열 에너지생산 및 저장 기술소개	2021년 04월22~23일 (목~금)
2	전시회 참가	2022 한국지하수토양환경학회 춘계 학술대회 전시회	대수층 계간축열 에너지생산 및 저장 기술소개	2022년 04월27~29일 (수~금)
3	전시회 참가	2022 스마트팜 코리아 박람회	대수층 계간축열 에너지생산 및 저장 기술소개	2022년 06월16~18일 (목~토)
4	전시회 참가	2022 한국지하수토양환경학회 추계 학술대회 전시회	대수층 계간축열 에너지생산 및 저장 기술소개	2022년 10월13~14일 (수~금)
5	전시회 참가	2022년 농식품 R&D 재배환경 제어기술 유망기술 발표회	이동형 저가 온실 생육환경 정밀 모니터링 기술소개	2022년 11월 29일 (화)
6	전시회 참가	2022 기업협업센터(ICC) R&BD 기술매칭페어	이동형 저가 온실 생육환경 정밀 모니터링 기술소개	2022년 12월 17일 (수)

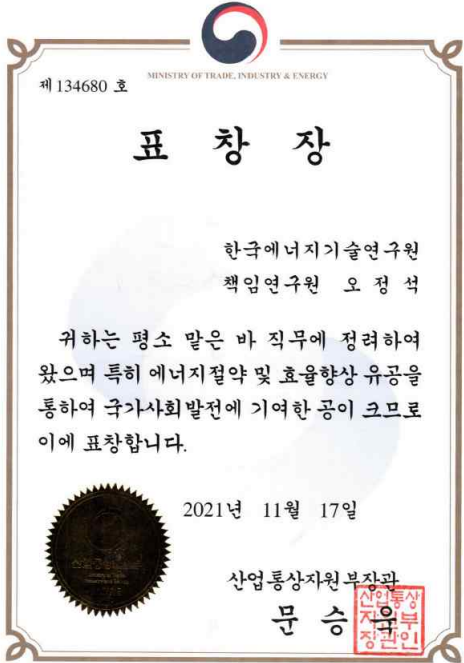
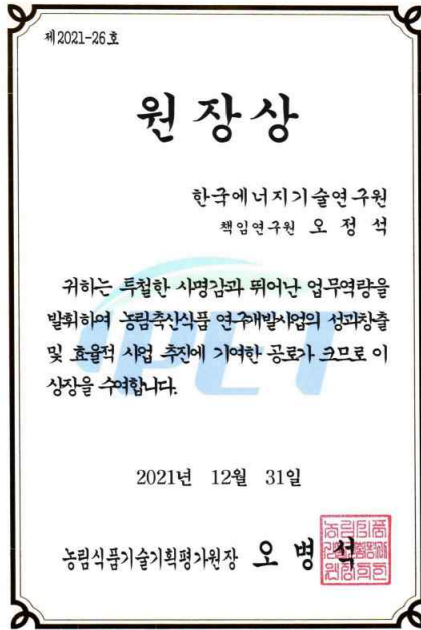
## [증빙자료: 전시회 참가]

<p>□ 전시회 참여 증명</p> <p>장소: 알뜰도시 25동아트홀 광주          날짜: 2021.04.22 ~ 4.23          - 행사명: 2021 한국지하수토양환경학회 춘계학술대회 및 정기총회          - 참석인: 증명</p>  <p>참가: 2021 한국지하수토양환경학회 춘계학술대회 부스에서 홍보하였습니다.</p> <p>연구책임자 홍기섭</p>	<p>[홍보성격: 4차 산업혁명포럼/전시회]</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>번호</th> <th>홍보 유형</th> <th>매체명</th> <th>제목</th> <th>홍보일</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>홍보 게시</td> <td>2022 한국지하수토양환경학회 춘계학술대회</td> <td>대수층 계간축열 에너지생산 및 저장 기술소개</td> <td>2022년 04월 27~29일</td> </tr> </tbody> </table> <p>(홍보기간: 홍보)</p> 	번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일	1	홍보 게시	2022 한국지하수토양환경학회 춘계학술대회	대수층 계간축열 에너지생산 및 저장 기술소개	2022년 04월 27~29일	<p>[홍보성격: 4차 산업혁명포럼/전시회]</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>번호</th> <th>홍보 유형</th> <th>매체명</th> <th>제목</th> <th>홍보일</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2</td> <td>홍보 게시</td> <td>2022 스마트팜 코리아 박람회</td> <td>대수층 계간축열 에너지생산 및 저장 기술소개</td> <td>2022년 06월 16~18일</td> </tr> </tbody> </table> <p>(홍보기간: 홍보)</p> 	번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일	2	홍보 게시	2022 스마트팜 코리아 박람회	대수층 계간축열 에너지생산 및 저장 기술소개	2022년 06월 16~18일	<p>[홍보성격: 4차 산업혁명포럼/전시회]</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>번호</th> <th>홍보 유형</th> <th>매체명</th> <th>제목</th> <th>홍보일</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>홍보 게시</td> <td>2022 한국지하수토양환경학회 추계학술대회</td> <td>대수층 계간축열 에너지생산 및 저장 기술소개</td> <td>2022년 10월 13~14일</td> </tr> </tbody> </table> <p>(홍보기간: 홍보)</p> 	번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일	3	홍보 게시	2022 한국지하수토양환경학회 추계학술대회	대수층 계간축열 에너지생산 및 저장 기술소개	2022년 10월 13~14일
번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일																													
1	홍보 게시	2022 한국지하수토양환경학회 춘계학술대회	대수층 계간축열 에너지생산 및 저장 기술소개	2022년 04월 27~29일																													
번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일																													
2	홍보 게시	2022 스마트팜 코리아 박람회	대수층 계간축열 에너지생산 및 저장 기술소개	2022년 06월 16~18일																													
번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일																													
3	홍보 게시	2022 한국지하수토양환경학회 추계학술대회	대수층 계간축열 에너지생산 및 저장 기술소개	2022년 10월 13~14일																													
<p>전시회 참가 1 (2021년04월22~23일)</p>	<p>전시회 참가 2 (2022년04월27~29일)</p>	<p>전시회 참가 3 (2022년06월16~18일)</p>	<p>전시회 참가 4 (2022년10월13~14일)</p>																														
<p>[홍보성격: 4차 산업혁명포럼/전시회]</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>번호</th> <th>홍보 유형</th> <th>매체명</th> <th>제목</th> <th>홍보일</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4</td> <td>홍보 게시</td> <td>2022년 농식품 R&amp;D 재배환경 제어기술 유망기술 발표회</td> <td>이동형 저가 온실 생육환경 정밀 모니터링 기술소개</td> <td>2022년 11월 29일</td> </tr> </tbody> </table> <p>(홍보기간: 홍보)</p> 	번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일	4	홍보 게시	2022년 농식품 R&D 재배환경 제어기술 유망기술 발표회	이동형 저가 온실 생육환경 정밀 모니터링 기술소개	2022년 11월 29일	<p>[홍보성격: 4차 산업혁명포럼/전시회]</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>번호</th> <th>홍보 유형</th> <th>매체명</th> <th>제목</th> <th>홍보일</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5</td> <td>홍보 게시</td> <td>2022 기업협업센터(ICC) R&amp;BD 기술매칭페어</td> <td>이동형 저가 온실 생육환경 정밀 모니터링 기술소개</td> <td>2022년 12월 17일</td> </tr> </tbody> </table> <p>(홍보기간: 홍보)</p> 	번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일	5	홍보 게시	2022 기업협업센터(ICC) R&BD 기술매칭페어	이동형 저가 온실 생육환경 정밀 모니터링 기술소개	2022년 12월 17일												
번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일																													
4	홍보 게시	2022년 농식품 R&D 재배환경 제어기술 유망기술 발표회	이동형 저가 온실 생육환경 정밀 모니터링 기술소개	2022년 11월 29일																													
번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일																													
5	홍보 게시	2022 기업협업센터(ICC) R&BD 기술매칭페어	이동형 저가 온실 생육환경 정밀 모니터링 기술소개	2022년 12월 17일																													
<p>전시회 참가 5 (2022년11월29일)</p>	<p>전시회 참가 6 (2022년12월17일)</p>																																

□ 포상 및 수상 실적

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관
134680	장관표창	에너지대상	에너지절약 및 효율향상 유공	한국에너지기술연구원 오정석	2021년 11월17일	산업통상자원부
2021-26	원장표창	원장상	농림축산식품 연구개발사업 유공	한국에너지기술연구원 오정석	2021년 12월31일	농림식품기술 기획평가원

[증빙자료: 대외수상]

 <p>수상실적 1</p>	 <p>수상실적 2</p>
--	---

### 3-2. 목표 달성 수준

추진 목표	달성 내용	달성도(%)
○ 300 Mcal/hr(약 700 ton/day) 급 이상 대수층 계간축열 분공 구축	○ 300 Mcal/hr(약 700 ton/day) 급 이상 대수층 계간축열 분공 구축	○ 100
○ 보조열원용 KS인증 53 kW <sub>th</sub> 급 바이오설비 설치	○ 한국에너지공단 인증 신재생에너지설비 53 kW <sub>th</sub> 목재펠릿보일러 시험성적서 발급 후 실증온실 기계실 설치	○ 100
○ 재생에너지 융복합 기계실 설비 및 온실 복사열배관 구축	○ 자동제어 설비 구축	○ 100
○ 비상열원용 KS인증 수열에너지 설비 구축	○ 한국에너지공단 인증 신재생에너지설비 수열히트 펌프 기계실 구축	○ 100

### 3-3. 연차별 정량적 목표 달성 수준 (시스템 구축 관련)

개발년차	시스템 구축 항목	협업 및 수행기관	정량적 목표	달성률 (%)
1단계 1차년	유력(후보) 실증처별 수리지질조사	한국지질자원연구원 ㈜지엔에스엔지니어링	1회/곳	300 (광주, 부여, 완주)
	0.3 ha 급 융복합 에너지 적용 가능 실증온실 선정	한국에너지기술연구원 한국지질자원연구원 ㈜지엔에스엔지니어링	1곳	100
		㈜센도리		
		전라북도농업기술원		
	목재펠릿보일러 시험성적서 발급	한국에너지기술연구원	1건	100
생육환경 측정 무빙센서 설계	숙명여자대학교	1건	100	
1단계 2차년	ATES 본공 구축	한국지질자원연구원 ㈜지엔에스엔지니어링	1건	100
	ATES 보조공 구축	한국지질자원연구원 ㈜지엔에스엔지니어링	-	초과 달성 (추가 시공)
	보조열원용 바이오설비 구축	한국에너지기술연구원	1대	100
	보조열원용 온실 복사열배관 구축	한국에너지기술연구원 ㈜센도리	1건	100
	수열에너지 설비 구축	㈜센도리	1건	50
	수동제어 기계실 및 설비 구축	한국에너지기술연구원 ㈜센도리	1건	100
	생육환경 측정 무빙센서 (부분) 구축	숙명여자대학교	1대	200 (2대 설치)
2단계 1차년	ATES 최적운전기술 개발 ATES 설계, 운전, 유지관리 매뉴얼 작성	㈜지엔에스엔지니어링	각 1건	100
	대수층내 수질 측정 및 모니터링	한국지질자원연구원	1건	100
	신재생 설비 스마트 제어 설비 구축 기계실 열공급 설비 유지보수 기술개발	㈜센도리	각 1건	100
	에너지 시스템 평가 및 경제성 분석	한국에너지기술연구원	1건	100
	정밀센싱 기반 열환경 계측 솔루션 개발 열환경 계측 실증 성능평가	숙명여자대학교	각 1건	100
	절기별 생육 및 생산성 검정 현장 활용도 향상 모델 검증	전라북도농업기술원 청운농원	각 1건	100



## 4. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

### 4-1. 기술 기여도 및 산정근거

- 혁신법 시행('21.1.) 이후 협약과제 또는 혁신법 시행 이전 협약과제 중 경상기술로 납부 희망 과제의 경우 아래 기준 해당 (기술기여도 산정 가이드라인 참고)

(단위 : 백만원, %)

총괄과제명	세부과제명	기관명	유형	총 연구개발비 (A)	정부지원 연구개발비 (B)	정부지원 연구개발비 비율 (C=B/A)	성과 유형	기술기여도	
								산정 근거	비율
융복합(대수층 계간축열, 바이오설비, 수열히트펌프) 에너지 생산·관리 및 실증모델 구축	대수층 계간축열 에너지 생산 및 저장 실증모델 개발	지엔에스 엔지니어링	중소기업 (영리)	2,189.2	1,400	63.95%	신규 기술개발	①-①	63.95%
	융복합 재생에너지 인증 히트펌프 시스템 개발, 구축	센도리	중소기업 (영리)	2,316.2	1,560	67.35%	신규 기술개발	①-①	67.35%
계				4,505.4	2,960	-	-	-	-

- (기술기여도 산정 가이드라인) 혁신법 제18조제2항, 혁신법 시행령 제39조제2항 각 호 근거

<b>① 연구개발성과 실시로 제품A의 매출액이 발생(신규 제품)하였거나 증가(기존 제품 개선 등)한 경우</b>
<p>① <b>★기본원칙★ 제품A2의 매출액 산정이 가능한 경우(별도 자료 제출 불필요)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- (매출액 기준) 기술료 산정 시 매출액은 제품A에 대한 매출액 적용</li> <li>- (기술기여도) 제품A2에 대한 총 연구개발비와 정부지원연구개발비를 감안하여 기술기여도 산정</li> </ul> <p style="text-align: center;"> <math display="block">\text{기술기여도} = \frac{\text{정부지원연구개발비}}{\text{총 연구개발비(정부지원연구개발비+기관부담연구개발비(현금+현물))}}</math> </p>
<p>② <b>제품A2의 매출액 산정이 곤란하나, 제품군A의 매출액 산정이 가능한 경우</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- (매출액 기준) 기술료 산정 시 매출액은 제품군A에 대한 매출액 적용</li> <li>- (기술기여도) 제품군A에서의 제품A2의 매출액 기여율과 제품A2에 대한 총 연구개발비 등을 감안하여 기술기여도 산정</li> </ul> <p style="text-align: center;"> <math display="block">\text{기술기여도} = \frac{\text{제품A2(예상 매출액)}}{\text{제품군A(예상 매출액)}} \times \frac{\text{정부지원연구개발비}}{\text{총 연구개발비}}</math> </p> <p><small>* 예상매출액 : 정부 R&amp;D사업(총 연구개발비)의 성과실시로 인한 예상 매출액을 기재하되 <b>관련 근거 자료 제시</b> (차년도 6.30.까지의 매출성과 발생 보고 시 별도 검증에 따라 기여도 조정여부 검토)</small></p>
<p>③ <b>제품A2의 매출액 산정이 곤란하나, 기업의 매출액 산정이 가능한 경우</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- (매출액 기준) 기술료 산정 시 매출액은 기업 전체 매출액 적용</li> <li>- (기술기여도) 기업매출액에서 제품A의 매출액 기여율과 제품A에 대한 총 연구개발비 등을 감안하여 기술기여도 산정</li> </ul> <p style="text-align: center;"> <math display="block">\text{기술기여도} = \frac{\text{제품A2(예상 매출액)}}{\text{기업(예상 매출액)}} \times \frac{\text{정부지원연구개발비}}{\text{총 연구개발비}}</math> </p> <p><small>* 예상매출액 : 정부 R&amp;D사업(총 연구개발비)의 성과실시로 인한 예상 매출액을 기재하되 <b>관련 근거 자료 제시</b> (차년도 6.30.까지의 매출성과 발생 보고 시 별도 검증에 따라 기여도 조정여부 검토)</small></p>
<b>② 연구개발성과 실시로 제품군C에 공통으로 적용되어 매출액에 기여(공정 개선 활동 등)한 경우</b>
<p>④ <b>제품군C의 매출액 산정이 가능한 경우</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- (매출액 기준) 기술료 산정 시 매출액은 제품군C에 대한 매출액 적용</li> <li>- (기술기여도) 제품군C 매출액에서의 해당 기술개발과제의 매출액 기여율과 제품군C에 대한 총 연구개발비 등을 감안하여 기술기여도 산정</li> </ul> <p style="text-align: center;"> <math display="block">\text{기술기여도} = \frac{\text{해당기술(예상 매출기여액)}}{\text{제품군C(예상 매출액)}} \times \frac{\text{정부지원연구개발비}}{\text{총 연구개발비}}</math> </p> <p><small>* 예상매출액 : 정부 R&amp;D사업(총 연구개발비)의 성과실시로 인한 예상 매출액을 기재하되 <b>관련 근거 자료 제시</b> (차년도 6.30.까지의 매출성과 발생 보고 시 별도 검증에 따라 기여도 조정여부 검토)</small></p>
<p>⑤ <b>제품군C의 매출액 산정이 곤란하나 기업의 매출액 산정이 가능한 경우</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- (매출액 기준) 기술료 산정 시 매출액은 기업 전체 매출액 적용</li> <li>- (기술기여도) 기업 매출액에서의 해당 기술개발과제의 매출액 기여율과 제품군C에 대한 총 연구개발비 등을 감안하여 기술기여도 산정</li> </ul> <p style="text-align: center;"> <math display="block">\text{기술기여도} = \frac{\text{해당기술(예상 매출기여액)}}{\text{기업(예상 매출액)}} \times \frac{\text{정부지원연구개발비}}{\text{총 연구개발비}}</math> </p> <p><small>* 예상매출액 : 정부 R&amp;D사업(총 연구개발비)의 성과실시로 인한 예상 매출액을 기재하되 <b>관련 근거 자료 제시</b> (차년도 6.30.까지의 매출성과 발생 보고 시 별도 검증에 따라 기여도 조정여부 검토)</small></p>

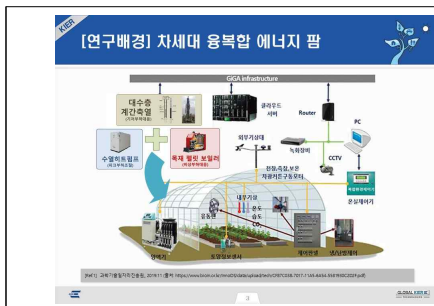
## 4-2. 관련 분야 기여 및 기대 효과



전통적인 노지에서의 정밀농업은 가림막을 거쳐 반밀폐형 원예시설인 플라스틱온실과 유리온실에 이르렀으며 완전밀폐형 온실로 진화하고 있음



시설원에 부문에서도 작물의 생산성 및 품질향상을 위해 사물인터넷 기반 정보통신 기술을 접목하여 온실 최적제어를 지나 지능형 자동제어로 발전하고 있음



원예시설의 자동화와 스마트화로 인해 설비의 전기화(Electrification)와 디지털화(Digitalization)에 대한 효용이 커짐에 따라 에너지에 대한 의존도 날이 갈수록 증가하고 있음



탄소중립을 실현하기 위한 에너지 전환정책을 충실히 선도하고자 본 과제를 통해 기존방식과 차별화한 Carbon-Net-Zero 재생에너지 기반 **융복합 에너지팜** 모델을 제안하고자 함



이는 비단 에너지의 융복합뿐만 아니라 다가올 도시농업과 내륙양식 시대를 대비해 새로운 방향을 제시하고자 하며 궁극적으로 오지 및 극지에서의 농업을 뛰어넘어 우주농업까지도 이바지하고자 함

## 5. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

- 혁신법 시행('21.1.) 이후 협약과제 또는 혁신법 시행 이전 협약과제 중 경상기술료 납부 희망 과제 경우에 해당함 (기술기여도 산정 가이드라인 참고)
- (기술료 산출식: 지엔에스엔지니어링) 당해연도 매출액 x 0.05(중소기업 기술요율 5%) x 0.6395(기술기여도 63.95%) x 0.2(과제참여 감면율 80%) x 0.7(일시납 감면율 30%)
- (기술료 산출식: 센도리) 당해연도 매출액 x 0.05(중소기업 기술요율 5%) x 0.6735(기술기여도 67.35%) x 0.2(과제참여 감면율 80%) x 0.7(일시납 감면율 30%)

< 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					
특허출원	국내					
	국외					
특허등록	국내	1	1	1		
	국외					
인력양성	학사					
	석사					
	박사					
사업화#1 (지엔에스엔지니어링)	시제품개발					
	상품출시					
	기술이전					
	공정개발					
	매출액(단위 : 천원)	-	200,000	400,000	800,000	1,200,000
	기술료(단위 : 천원)	-	895	1,791	3,581	5,372
사업화#2 (센도리)	시제품개발					
	상품출시					
	기술이전					
	공정개발					
	매출액(단위 : 천원)	-	200,000	300,000	500,000	1,000,000
	기술료(단위 : 천원)	-	943	1,414	2,357	4,715
비임상시험 실시						
임상시험 실시 (IND 승인)	의약품	1상				
		2상				
		3상				
	의료기기					
진료지침개발						
신의료기술개발						
성과홍보						
포상 및 수상실적		1				
정성적 성과 주요 내용						

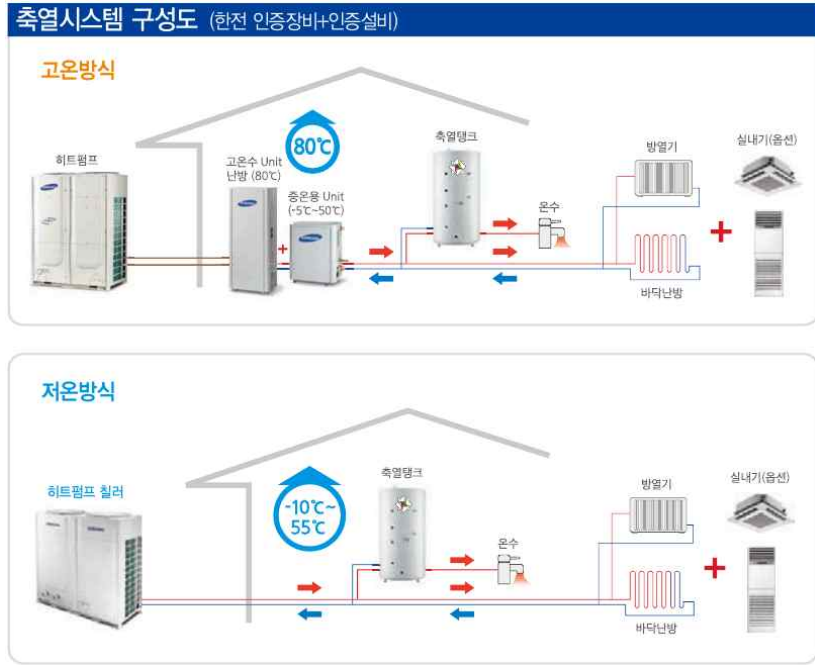


그림 5-1. 협동기관 센도리 사업화 구상 히트펌프 시스템 개략도

(1) 사업화 방안

① 센도리 사업화 방안

- (사업개념)

- 온실, 건물 등 냉난방 에너지절감을 위한 설비 시스템 기술로써 지열을 활용하되 기존 지열과 달리 공급과 환수공을 분리하여 계절별로 냉온수를 달리 저장하는 방법을 통해 난방효율 30%, 냉방효율 50%를 개선할 수 있는 효과를 활용한 사업화

- (시스템 결정 요인: 가이드라인)

- 시스템명: 수축열 히트펌프 시스템
- 사업정의: 공조설비 사업으로 건물 냉난방을 위한 공조설비 시스템 설계 기술을 바탕으로 국내 삼성전자의 히트펌프를 이용하여 시스템 설계, 시공, 사후관리 사업
- 기 매출성과(전남대 기숙사: 9.99억 원)의 농식품 R&D 과제와 관련성(30%)
- 계간축열(지열), 하천수열 및 목재 펠릿 보일러 열을 활용하여 히트펌프 운전 소비전력을 감소시키는 기술개발 결과를 활용하여 사업화한 제품은 공기열을 활용하여 히트펌프 대비 운전 소비전력을 감소시킨 시스템으로 “피크부하 관리를 위해 개발된 융복합 시스템 자동제어 기술”을 접목하였음

표 5-1. 기존 시스템 에어컨과 수축열 히트펌프 시스템과의 차별성

구분	기존 시스템 에어컨	수축열 히트펌프 시스템	비고
초기 투자비	기존 건물 리모델링 시 기존설비 전면 철거	기존 건물 리모델링 시 <b>기존 설비 활용 가능</b>	<b>낮은 초기투자비</b>
자동제어 (운영유지비)	상용제품	<b>축열 에너지 부하 관리</b> 심야전력 활용 축열	<b>소비전력 저감기술</b>
히트펌프	상용제품		
축열탱크	-	단열 보온 기능 강화한 축열탱크	
부하 연결	방열기, 바닥난방, 온수 등		



### 기술이전신청서


기술명	지열히트펌프 시스템 성능평가 기술					
신청기관 개요	기관명	유한책임회사 센도리	사업자등록번호	409-81-58877		
	대표자	박문수	법인등록번호	110115-0015194		
	주소	서울특별시 금천구 가산디지털1로 168, B동 8층 804호				
	설립년월일	2001년01월29일	업종 및 업태	제조업		
	주 생산(취급)품	공기조화기, 냉동기	종업원 수	명		
	연 매출액 (생산실적)	전 년 도("21) : 15,726 백만원 (수출실적 : 2.3만US\$) 당해연도("22) : 15,805 백만원 (수출실적 : 1.4만US\$)				
	실무책임자	성명	정광일			
		부서명 및 직위	본부장			
		전화	010-5636-1082			
		Fax	062-268-5536			
E-mail		kichung@cendori.com				
구분	자산총액 (백만원)	자기자본 (백만원)	총매출액 (백만원)	영업이익 (백만원)	종업원	
2022년	13,024	710	15,805	226	40	
2021년	11,275	710	15,726	354	38	
2020년	11,842	710	13,527	211	39	
기술이전 조건	기술유형	<input checked="" type="checkbox"/> Know-how <input type="checkbox"/> 지식재산권(특허, 실용신안 등) <input type="checkbox"/> 신지식재산권(프로그램 등) <input type="checkbox"/> 기타( )				
	거래유형	<input type="checkbox"/> 기술양도·매매( <input type="checkbox"/> 무상/ <input type="checkbox"/> 유상) <input checked="" type="checkbox"/> 기술라이선스(실시권양허)( <input type="checkbox"/> 전용실시권/ <input checked="" type="checkbox"/> 통상실시권)				
	계약조건	<input checked="" type="checkbox"/> 정액기술료 ( 20,000,000원)( 年 분납) <input type="checkbox"/> 경상기술료 ( 총매출액의 % )				
	실시기간	2023년 5월 1일 - 2024년 4월 30일				
<p>붙임 1. 사업자등록증사본 1부 2. 상용화계획(안) 1부(필요시).</p> <p>위와 같이 귀 연구원이 보유한 기술의 이전을 신청합니다.</p> <p style="text-align: center;">2023년 4월 7일</p> <p style="text-align: center;">신청기관명 : 유한책임회사  대표자 : 박문수</p> <p>한국기계연구원장 귀하</p>						

그림 5-2. 센도리가 한국기계연구원에 신청한 지열히트펌프 시스템 평가 기술이전 신청서

- (추진현황 및 계획)

- 추진전략 : 기술특허 확보 → 평가기술 기술이전(from 한국기계연구원) → 공인시험 → NET 인증 추진 → 조달품목 등록통한 사업화
- 기술특허 확보 : 효율향상을 위한 지열히트펌프 시스템 (제10-2505948호)
- 평가기술 이전 : 한국기계연구원으로부터 지열히트펌프 시스템의 평가에 관한 기술을 이전받아 본 과제를 통해 구축한 시스템 내 각종 센서 및 데이터 기록을 위한 장치를 구축하고자 기술이전 계약을 수행함 (23.05월)



그림 5-3. 효율 향상을 위한 지열히트펌프 시스템 특허 기술이 적용된 센도리 광주공장 내 유리온실 전경

- **(향후 추진계획)**

- 공인시험 추진(~23.06월) : 공인기관 현장 평가 통한 시스템 효율 개선 결과 공인
- NET 인증 추진(~23.08월) : 난방효율 30%개선, 냉방효율 50% 개선결과를 활용한 신기술인증 신청
- 조달품목 등록(~23.12월) : NET 인증 획득 결과를 바탕으로 조달품목 우수모델로 등록

- **(기술보급을 위한 노력)**

- 기 수행노력 : 그린-리모델링 사업지원으로 시장에서 구 건물의 냉난방 에너지 설비 교체가 활발하던 중 종래 시스템 에어컨 사업자들과 경쟁하기 위해, 구 건물의 냉난방용 FCU(Fan Coil Unit) 및 바닥난방 배관을 철거하지 않고 이를 그대로 활용할 수 있는 수축열 히트펌프 시스템과 이의 피크부하를 관리할 수 있는 자동제어 기술을 적용하여 시장에 진입하였음 → 전남대학교 기숙사 설치
- 현 수행노력 : 센도리 광주공장 내 관련 기술이 적용된 유리온실을 구축하여 시스템을 운영하고 자동 배연창 등을 도입하여 센서에 의한 IoT 운전을 통해 작물을 재배하는 현장을 구축하여 홍보하고 있음

- **(향후 수행계획)**

- 농업 분야: 농업에너지 자립형 모델을 구축하고 관련 보급사업에 참여
- 산업 분야: 공공 조달시장에 참여

< 별첨 자료 >

중앙행정기관 요구사항	별첨 자료
	1) 자체평가의견서
	2) 연구성과 활용계획서

# 자체평가의견서

## 1. 과제현황

		과제번호		120097-3	
사업구분					
연구분야				과제구분	단위
사업명	농업에너지 자립형 산업모델 기술개발사업				주관
총괄과제				총괄책임자	
과제명	융복합 (대수층 계간축열, 바이오설비, 수열히트펌프) 에너지 생산·관리 및 실증모델 구축			과제유형	(기초, 응용, <b>개발</b> )
연구개발기관	한국에너지기술연구원			연구책임자	오정석
연구기간 연구개발비 (천원)	연차	기간	정부	민간	계
	1차년도	2020.04.29. ~ 2020.12.31	1,500,000	500,000	2,000,000
	2차년도	2021.01.01. ~ 2021.12.31	2,000,000	667,000	2,667,000
	3차년도	2022.01.01. ~ 2022.12.31	2,000,000	378,400	2,378,400
	계	2020.04.29. ~ 2022.12.31	5,500,000	1,545,400	7,045,400
참여기업	한국지질자원연구원, (주)지엔에스엔지니어링, (주)센도리, 숙명여자대학교, 전북농업기술원				
상대국				상대국연구개발기관	

2. 평가일 : 2023년 04월 10일

3. 평가자(연구책임자) :

소속	직위	성명
한국에너지기술연구원	책임연구원	오정석

4. 평가자(연구책임자) 확인 :

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

확약	<b>오정석</b>
----	------------



## I. 연구개발실적

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

### 1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : 우수

- 국내 최초 지역 맞춤형 3종(지중축열, 하천수열, 목재펠릿) 융복합 재생에너지 온실 공급
- 기존 태양열 및 태양광 이용 에너지 공급방식 대비 집열 및 집광 공간 필요 없음
- 대수층 계간축열 기술 적용으로 지열 이용 대비 열효율 20% 이상 향상 가능  
[지온 15 ℃, 축열온 (냉)10, (온)20 ℃ 기준]
- 무축열조 냉난방공조 시스템 적용으로 축열조 공간 절약

### 2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : 우수

- 수요 맞춤형 융복합 재생에너지 공급으로 농촌 에너지 자립화에 기여
- 에너지 이용 합리화를 통한 원예시설 현대화 산업모델 제시
- 농가소득 향상 및 3020 탄소중립 실현을 위한 스마트팜 보급 촉진

### 3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : 우수

- 냉방 활용 고부가 작물 시험 재배를 통한 농가 소득향상에 기여  
(지하수 및 하천수 히트펌프, 목재펠릿 보일러 이용 냉난방으로 작물 출하시기 조절 및 남부지방에서 하계 고소득 고랭지 작물 재배 가능)
- 스마트팜 에너지 수요 증가 해결안 제시  
(온실 자동화 및 전장화 가속화로 인해 에너지 소비량이 증가하는 문제를 고효율 융복합 에너지팜 모델 적용으로 해결 가능)

### 4. 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : 우수

- 최적의 융복합 에너지팜 기술 적용 실증온실 선정위한 후보지 12곳 방문, 협의, 수리지질조사 수행
- 연간일정 마일스톤 관리, 기관별 연구노트 작성, 주관기간 격주간 그룹회의 및 협력기관 수시회의
- 기관간 협업위한 연초착수회의 3회, 연중진도점검회의 3회, 연말종료회의 3회, 워크샵 3회 개최

### 5. 공개발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급 : 우수

- 국내특허출원 9건, 국제특허(PCT)출원 1건, 국내특허등록 1건
- 제품화 1건, 매출액 9.9억 원, 고용창출 12명
- 국외 SCI급 학술논문 1편, 국내 등재지급 학술논문 1편, 학회발표 9건
- 홍보 및 전시 12건, 대외수상 2건

## II. 연구목표 달성도

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
실증설비규모: 0.3 ha 이상	30	100	0.3 ha급 이상 연동온실 적용 실증모델 구축
융복합 재생에너지원: 3종 이상	40	100	대수층 계간축열 설비(80 RT급), 수열 히트펌프(20 RT급), 목재 펠릿 보일러(58 kW급) 설비 융복합
온실 에너지공급량: 300 Mcal/hr 이상	30	100	100 RT급 히트펌프 및 58 kW급 목재펠릿 보일러 이용 온실 열공급 실증완료
합계	100점	100	

## III. 종합의견

### 1. 연구개발결과에 대한 종합의견

융복합 에너지팜 기술은 농촌에너지자립화를 통한 에너지 수요관리와 원예시설 현대화라는 사회문제를 해결하기 위해 전례 없이 신선한 융복합적 방식으로 접근하여 기존 스마트팜 기술과 차별성을 지니며 에너지 다소비기기 효율 향상 측면에서 다음의 우수성을 지닙니다.

먼저 융복합 에너지팜 기술은 세 가지의 재생에너지(대수층계간축열, 하천수열, 목재펠릿) 원을 융복합하여 온실에 공급(300 Mcal/hr; 0.3 ha급 온실 난방 기준)하는 기술로 지리적 특성을 반영하여 적합한 비율을 조절함으로써 수요처 상황에 유연하게 대처할 수 있는 에너지 공급 기술입니다.

다음으로 열에너지저장시스템(TESS) 기술 중 하나인 대수층 계간축열(ATES) 기술은 계절간 장기 열저장이 가능하여 기존 (폐쇄형 또는 개방형) 지열에너지 기술 대비 에너지 이용 효율(약 25 %)이 높습니다. 다른 지중 축열기술(Borehole, Tank, Pit Thermal Energy Storage; 각 BTES, TTES, PTES)과 비교하였을 때도 초기 설치비가 적게 들고 축열 밀도(대략 30~50 kWh/m<sup>3</sup>)가 높은 이점이 있습니다. 또한 태양광, 태양열 및 풍력 설비와 비교해 보았을 때 설치 면적을 크게 줄일 수 있어 여유 공간이 협소한 구축 온실에도 적용할 수 있는 장점이 있습니다.

이러한 장기 열저장 기술을 하천수열 히트펌프와 목재펠릿보일러 기술과 융합하여 기저부하(ATES)를 보완하고 비상시를 대비함으로써 시스템 운영상 안정성을 확보하였습니다.

### 2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

없 음

### 3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

농촌에너지자립화 산업기술 활성화를 위해 중장기적으로 산업 활성화 로드맵이 필요하며 세부 기술별 분류와 함께 각 기술 등에 관한 실증 및 응용사례 발굴, 표준화(설계표준, 시공표준, KS규격 등) 및 인증제도 등이 뒷받침되어야 할 것으로 생각합니다.

또한 열에너지저장설비 등이 한국에너지공단 신재생에너지 설비분류에 포함하는 등 (시장 활성화 전 단계까지는) 산업진흥을 위한 유인책(금융 및 세제 지원 등)이나 관련 시책(보급사업, 설치 또는 보급 의무화 등)이 필요할 것으로 생각합니다.

#### IV. 보안성 검토

해당사항 없음
---------

※ 보안성이 필요하다고 판단되는 경우 작성함.

##### 1. 연구책임자의 의견

해당사항 없음
---------

##### 2. 연구개발기관 자체의 검토결과

해당사항 없음
---------

# 연구성과 활용계획서

## 1. 연구과제 개요

사업추진형태	<input type="checkbox"/> 자유응모과제 <input checked="" type="checkbox"/> 지정공모과제	분 야			
연구과제명	융복합 (대수층 계간축열, 바이오설비, 수열히트펌프) 에너지 생산·관리 및 실증모델 구축				
주관연구개발기관	한국에너지기술연구원		주관연구책임자	오 정 석	
연구개발비 (단위: 천원)	정부지원 연구개발비	기관부담연구개발비	기타	총연구개발비	
	5,500,000	1,545,400		7,045,400	
연구개발기간	2020. 04. 29 - 2022. 12. 31 (2년 9개월)				
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 실증설비규모: 0.3 ha 이상	0.3 ha급 1-2W형 5연동 온실 대상 기술 적용 (목표 달성)
② 융복합 재생에너지원: 3종 이상	대수층 계간축열 및 하천수열 히트펌프, 목재펠릿 보일러 융복합 설비 구축 완료 (목표 달성)
③ 온실 에너지공급량: 300 Mcal/hr 이상	100 RT급 히트펌프 및 58 kW급 목재펠릿 보일러 이용 온실 열공급 실증 완료 (목표 달성)

\* 결과에 대한 의견 첨부 가능

## 3. 연구목표 대비 성과

(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 (대외수상)
	특허 출원	특허 등록	품종 등록	S M A R T	건 수	기 술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출	투 자 유 치		논 문	논 문 평 관 I F	학 술 발 표			정 책 활 용	홍 보 전 시	
	건	건	건	건	건	백 만 원	건	백 만 원	백 만 원	명	백 만 원	건	건	건	명	건	건	건		
가중치	20	20			2.5	2.5	10	10		20				10			5			
최종 목표	5	4			3	30	1	5,400		7				7			1			
연구 기간	목표	5	3							5				7						
	실적	9	1				1	999		12				9			12	2		
달성률 (%)	180	33					조기 달성	조기 달성		240				초과 달성	초과 달성		1200	초과 달성		



4. 핵심기술

구분	핵심기술명
①	재생에너지 융복합(대수층 계간축열, 하천수열, 목재펠릿 보일러) 열공급 기술
②	이동형 센서 기반 저가형 온실 열 생육환경 정밀 모니터링 시스템 기술

5. 연구결과별 기술적 수준

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

\* 각 해당란에 v 표시

6. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
①의 기술	수요 맞춤형 융복합 재생에너지 공급으로 농촌 에너지 자립화에 기여 및 에너지 이용 합리화를 통한 원예시설 현대화 산업모델 제시
②의 기술	기존 고가의 무선 멀티노드 방식의 열 생육환경 정밀 모니터링 기술 대체

7. 연구종료 후 성과창출 계획

(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 (대외수상)
	특허 출원	특허 등록	품종 등록	SMART	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용 창출		투자유치	논문 SCI	논문 비SCI			논문 평판 I/F	학술 발표	
	건	건	건	건	건	백만원	건	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	명	건	건	건	
가중치	20	20			2.5	2.5	10	10		20				10				5	
최종목표	5	4			3	30	1	5,400		7				7				1	
연구기간내 달성실적	9	1			0	0	1	999		12				9				12	2
연구종료후 성과창출 계획		3			3	30		4,401											

## 주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 농업에너지자립형산업모델기술개발 사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 농업에너지자립형 산업모델기술개발 사업의 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.