18CTAP
-C11654
6-03

보안 과제( ), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개( )발간등록번호()
국토교통기술촉진연구사업 제3차 연도 최종보고서

R&D/18CTAP-116546-03

복수의 지열정 페어링 및 지하수연동제어기술을 활용한 지중열교환 효율 증대기술 연구 최종보고서

2019.07

주관연구기관 / (주)지지케이
공동연구기관 / (주)지오엔지니어링
공동연구기관 / 한국지하수지열협회
위탁연구기관 / 부산대학교 산학협력단

국토교통부
(전문기관) 국토교통과학기술진흥원

복수의 지열정 페어링 및 지하수 연동제어 기술을 활용한 지중열교환 효율 증대기술 연구

최종보고서

2019

국토교통부 국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

'복수의 지열정 페어링 및 지하수연동제어기술을 활용한 지중열교환 효율 증대기술 연구'(연구개발 기간 : 2016.10.24 ~ 2019.04.26) 과제의 최종보고서 10부를 제출합니다.

2019 07 .

주관연구기관명 : (주)지지케이 (대표자) 안 근 묵 (인)

공동연구기관명 : (주)지오엔지니어링 (대표자) 김 남 주 (인)

공동연구기관명 : 한국지하수지열협회 (대표자) 임 철 호 (인)

위탁연구기관명 : 부산대학교 산학협력단 (대표자) 윤 석 영 (인)



주관연구기관책임자: 전 운
공동연구기관책임자: 김남주
공동연구기관책임자: 이병호
위탁연구기관책임자: 남유진

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	18CTAP-C 116546-03	해당 단계 연구 기간	3차년도 (18.04.24~ 19.04.26)	단계구분	3/3
연구사업명	국토교통기술촉진연구사업				
연구과제명	복수의 지열정 페어링 및 지하수연동제어기술을 활용한 지중열교환 효율 증대기술 연구				
연구책임자	전 운	해당단계 참여연구원 수	총: 23명 내부: 23명 외부: 명	해당단계 연구비	정부:312,000천원 민간:105,980천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계:415,980천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 23명 내부: 23명 외부: 명	총 연구비	정부:871,000천원 민간:290,350천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계:1,161,350천원
연구기관명 및 소속 부서명	주관연구기관 : (주)지지케이 공동연구기관 : (주)지오엔지니어링 한국지하수지열협회			참여기업명:해당없음	
국제공동연구	상대국명:해당없음			상대국 연구기관명:해당없음	
위탁연구	연구기관명:부산대학교 산학협력단			연구책임자:남유진	
※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 갈음					
연구개발성과의 보안등급 및 사유	- 일반				

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설·장비	기술요약 정보	소프트웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기탁 번호	6										

국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설·장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

요약 | 보고서 면수 111

1. 연구Test-Bed 선정 및 지열시스템 설치
2. 에너지효율 요인인자 검토
2. 에너지 효율 증대를 위한 다중관정 지열 시스템의 설계 및 시공 가이드 라인 작성
3. 기존 SCW 시설 대비 시공비 12.32% 절감
4. 기존 SCW 시설 대비 에저니 생산효율 평균 111.7% 효율증가

<국문요약문>

연구의 목적 및 내용	1. 연구의 비젼 가. 최근 사회적 이슈로 부각되고 있는 지중열 설비의 안정성 문제에 대한 신뢰도 제고(열교환효율저하, 지속성 등)에 기여 나. 지하매설구조물인 지중열교환기 설치 공사원가의 절감으로 부실시공 위험저감 2. 연구내용 가. 지중열교환기 효율향상(10% 이상) (1) 복수의 지열정을 관통하는 도수통로(spill way)를 설치, 병렬연결(pairing)하여 필요에 따라 쌍방향 순환이 가능한 ATES기술기반의 제어시스템 개발 - 이방성 암반지열정에서의 애로기술인 채수량과 주입량의 불균형을 제어하므로서 지하수열 낭비 요인제거 - 개별 지열정에 대한 수리지질 특성을 고려 채수 및 주입기능 쌍방향 전환 - 국내 암반대수층 평균 주입율(25~30%) 해당 지하수는 대수층에 주입되어 열을 저장하고 남은 지하수는 주입 수두차 압력에 의해 취수정으로 재환류 - 주입정에 저장된 열에너지는 냉난방 시기별로 교차 활용할 수 있도록 동일 순환시스템(Groundwater circulation) 설치 (2) 현행 지하수 공외 배출 규제하용 한도(20%내외)인 블리딩율 및 주입율을 포함 시 약 45%~50% 수준의 블리딩 효과발생→(효율향상 기대치 10~30%) (3) 모든 지열공에 동일한 출·배수 시스템을 설치하여 일부 지열정 고장 발생 시 설비 가동 중단 없이 비상운전 가능 나. 지중열교환기 설치 공사비 절감(10%이상) (1) 국내 암반 지하수 부존 유효심도(200± m) 이내의 중규모 지열정 모델 개발로 공사비 10% 이상 절감 - 건설 품셈 기준 200m이상 100m 초과 시 마다 10% 씩 할증공사비 누적 - 저가 수주시 고심도 지열공 굴착(500± m)은 시공 난이도가 높아 치명적 하자발생 원인을 제공하는 공곡(well deflection)허용기준 초과
연구개발성과	1. 연구성과 가. 연구 과정에서 획득한 유·무형 성과는 특허출원 및 개발기술 기반으로 연구종료 후 건설 신기술 취득과 연계 나. 상업용 시공모델 시제품 출시 다. 지열생산정은 장기모니터링이 가능하도록 건축주와 협의(일정기간2~3년)후 원상보존 존치(500m 1공, 250m 4공) 라. 물리검층자료, 시추주상도 등 연구과정에서 취득된 기술자료 영구보존 마. 전문기관, 대학 등에 설계·시방서 및 유지관리지침 2. 검증방법 가. 제 3의 전문기관(국책연구기관, 대학 등)과 공동 실증시험 실시로 공신력 확인

연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	1. 활용계획 가. 검증된 연구성과는 지식재산권확보(특허·신기술신청 등) 나. 학술활동을 통한 기술 완성도 보강 다. 기술수출 활로개척 라. 후속 기술개발에 의한 지속적 업그레이드 2. 기대효과 가. 사회적 측면 - 고심도 지열정 굴착남발 억제로 심층 지하수 오염예방 - 사회적 불신이 팽배한 지열설비 안정성 효율성 신뢰회복 - 시공난이도 및 공사원가를 낮춰 부실시공 위험 저감 나. 기술적 측면 - 대용량 설비에 적용성이 높은 연립관정페어링 기술로 밀폐형 일변도의 기술보급 불균형 완화 - 밀폐형 기술과 융합시 시너지 효과 최대화 - 현행 정부설비 보급지침 충족기술로 시장조기진입 가능

핵심어 (5개 이내)	개방형지중열교환기	연립관정형	도수통로	병렬식연결	대수층 축열

<SUMMARY>

Purpose & Contents	1. Vision of this study A. Interest for stability of ground source heat pumps increase. However, this study can improve reliability of ground source heat pumps. B. The installation cast for ground source heat pump can decrease. In addition, low coast can reduce risk for careless construction. 2. Contents of this study A. Increment of energy efficiency (over 10%) a. Installation of spill way among geothermal wells and development of control technique which enables two-way circulation using pairing - In anisotropic geothermal wells, energy efficiency can increase using technique of controling pumping and recharge. - In a geothermal well, pumping and recharge are enabled alternatively considering hydrogeological properties. - 25-30% of total groundwater pumped from geothermal wells is recharged into the aquifer to save the geothermal energy and the rest is stored at the pumping well caused by difference of water levels. - Groundwater cycling system will be developed to use alternatively the saved thermal energy with cooling and heating mode at the geothermal wells. b. Now, blooding rate is 20% of total circulated groundwater in the system. However, blooding effect is elevated by 45-50% in our system because recharge rate is included. c. When some of the geothermal wells is breakdown in our system, our system can be operated normally because the pumping and injection are enable in geothermal well suggested in this study. B. Reduction of installation cost (over 10%) a. Most groundwater is yielded within 200 m in Korea. Therefore, if geothermal well is installed within 200 m, installation cost of ground source heat pumps can decrease by over 10%. - The installation cost increase highly in depth over 200 m compared to within 200 m based on domestic standard price. b. When geothermal well is installed near 500 m depth, well deflection can occur because advanced technique is demanded
Results	1. Achievement of this study A. New technique is going to be obtained using developed technique and patent. B. Industrial construction model will be suggested. C. Long-term monitoring for ground source heat pump will be conducted D. Technical data obtained in this study is forever preserved. E. Design specifications and management guidelines are supported to professional organization and university 2. Verification A. Experimental results are subject to verification by an expert group.

Expected Contribution	1. Future plan A. System installed previously can be imporved. B. Major consumers may be horticulture, large-scale residential development area, and most open loop ground source heat pump facility. 2. Benefit A. Social aspects - Deep groundwater resources is preserved from uncontrolled installation of open loop ground source heat pumps. - It is about ensuring the reliability of geothermal energy. - The risk for poor construction can be reduced due to the low cost of installation B. Technical aspects - Imbalances of ground source heat pump market can be solved because multi well two-way groundwater circulation control system is suitable for large ground source heat pump. - When this technique is applied to closed ground source heat pumps, various problems such as thermal energy accumulation and high cost of installation can be solved. - There are advantages such as increment of energy efficiency and decrement of installation cost because of the elevation of bleeding effect.				
Keywords	Open Loop Ground source Heat pump	Multiful-well	Spill way	Pairing	Aquifer thermal energy storage(ATES)

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 ····· 9
가. 연구개발 목적 ····· 9
나. 연구개발의 중요성 및 필요성 ····· 9
다. 연구개발의 창의성•혁신성 등 ····· 11
라. 선행연구 내용 및 결과 ····· 14
마. 연구개발의 범위 ····· 15
바. 기술개발 성숙도 ····· 18
사. 본 연구개발 기술의 기술개발성숙도 평가 ····· 18

2. 국내외 기술 개발 현황 ····· 19
가. 국내 현황 ····· 19
나. 국내 시장 규모 현황 ····· 20
다. 국외 현황 ····· 21
라. 국외 시장 규모 현황 ····· 21

3. 연구수행 내용 및 성과 ····· 23
가. Test Bed 설치 및 운영 ····· 23
나. 에너지 효율증대 검증 ····· 38
다. 시공비절감 검증 ····· 45
라. 지하수 연동제어기술 개발 ····· 46
마. 에너지효율 증대를 위한 요인인자 검토 ····· 47
바. 에너지효율 증대 검증 ····· 67
사. 기술의 보급 및 홍보 ····· 71

4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 96
가. 목표달성도 ····· 96
나. 관련분야 기여도 ····· 96
다. 목표 미달성시 원인(사유) 및 차후대책 ····· 97

5. 연구개발성과의 활용계획 ····· 98
가. 연구개발성과의 활용방안 ····· 98
나. 사업화 계획 ····· 98

6. 연구과정에서 수집한 해외 과학기술 정보 ····· 104
가. 국외 지열냉난방시스템 관련 기술개발 동향 ····· 104
나. 지열냉난방시스템의 핵심부품 제조사 ····· 104

7. 연구개발성과의 보안등급 ····· 105

8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설 · 장비현황 ····· 105

9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행 실적 ····· 106
가. 연구실 안전조치 이행계획 ····· 106

10. 연구과제의 대표적 연구실적 ····· 107
가. 시공비 절감효과 ····· 109
나. 에너지효율 기존 SCW 대비 11.5% 향상 ····· 110
다. 연구시스템 적용 공사계약 ····· 110

11. 기타사항 ····· 111

12. 참고문헌 ····· 111

1. 연구개발의 개요

가. 연구개발 목적

(1) 복수의 암반지열관정 페어링 및 지하수 연속순환 제어기법을 이용한 지중 열교환기 효율향상

(2) 국내 암반 대수층 발달 유효심도(±200m 이내) 내에서 지열공 굴착 규모의 중형화로 시공 난이도 완화, 공곡 위험저감에 따른 지하수 순환장애 해소, 할증공사비 최소화를 통한 경제적 시공모델 구현

나. 연구개발의 필요성

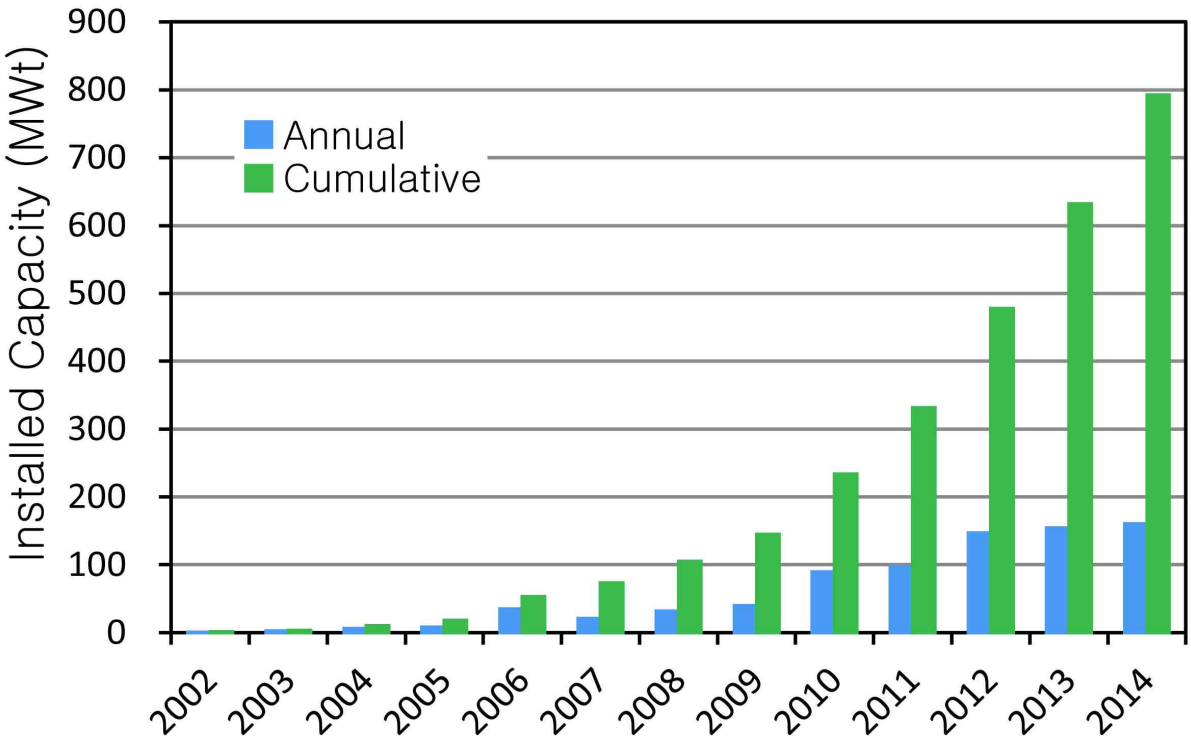
(1) 2016 국토교통부가 선정한 7대 신산업추진과제 중 지하수법 제9조의 7 지하수를 냉난방 에너지원으로 합리적 이용 및 파리기후변화협약 이행을 정책적 뒷받침을 위해 선정된 “제로에너지빌딩” 구현에 기여

(2) 지난 5년간 공공기관 지방이전에 따른 신축청사에 적용된 신재생에너지원 전체의 약 72%가 지열설비

(3) 공공 기관 이전이 마무리 되면서 민간건물(1만m^2)에도 신재생의무화제도(RHO) 도입 임박해 있고, 전 단계인 공공의무화사업 결과를 감안, 민간부분에서도 지열부분 성장세 지속

(4) 신재생에너지의 보급증대

(가) 공공기관의 신재생에너지 설치 의무화로 인해 2014년까지 국내에 약 790 MW 용량이 설치되었으며(Song and Lee, 2015), 2020년 까지 공공기관의 에너지 소비량 중에 30% 수준까지 신재생에너지시설이 설치될 예정임



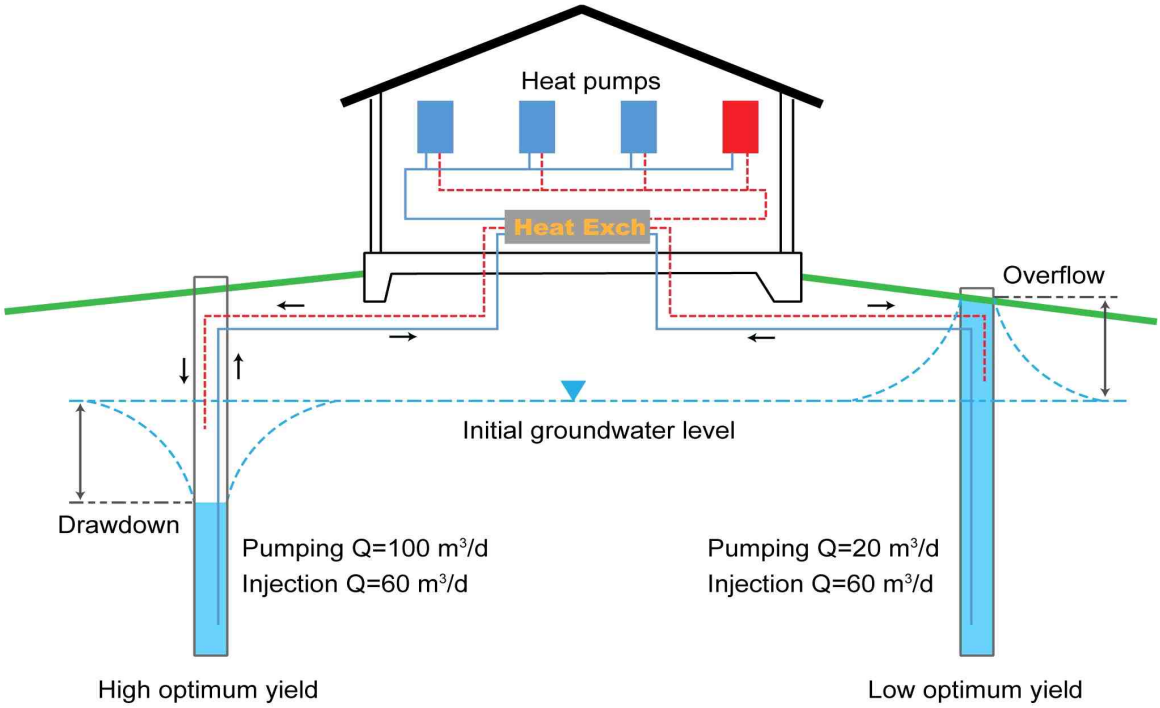
〈그림 1-1〉 2002~2014년까지 지열냉난방시스템 국내 설치 현황(Song and Lee, 2015)

(나) 민간 건축물(10,000m^2이상)의 신재생에너지시설 설치의무화제도 시행계획(서울시 모든 공공 및 상업용 건물 신축 시 신재생에너지 비중 14% 의무화조례 제정)

(다) 공공기관에 설치된 신재생에너지원 중 지열에너지가 70% 이상 차지

(5) 다공형 개방형지열시스템의 에너지 효율관리 기술필요

(가) 최근까지 국내에 설치된 개방형지열시스템은 설치지역의 수리지질학적 특성 및 지하수 산출능력을 고려 않아 각 지열공에 대한 에너지 효율이 차이를 보이는 사례가 있음



〈그림 1-2〉 산출율 차이(이방성)로 인한 지하수 역류현상 발생

(나) 산출능력의 차이는 시스템 운영 중 주입과정에서 주입수의 Overflow를 발생시켜 에너지 손실과 시스템 전체의 기술적 문제를 야기 시킬 수 있음

(다) 국내 개방형지열시스템에서 에너지 효율을 향상시키기 위한 기술개발은 주로 단공을 대상으로 이루어졌으나 지열공에 대한 에너지 효율을 높이기 위해서는 현실적으로 고효율 다공형 개방형 지열시스템 개발이 필요함

(라) 국내의 경우 암반대수층 내 지하수가 2차적으로 형성된 절리를 따라 분포하므로 지열공마다 에너지 효율이 차이를 보일 수 있으므로 에너지 효율의 높이기 위해서는 각 지열공의 에너지 효율을 평가하고 지열공의 심도 및 배치 최적화 기술 개발이 필요함

(6) 지금까지 지열시장전반에서 제기되고 있는 기술적 문제점으로는 밀폐형 설비에서의 열섬화에 의한 효율저하, 개방형의 경우는 비수직고심도지열정에서의 지하수 순환장애가 대표적으로, 이는 지난 60여년간 축적된 지하수 개발·이용 기술 정보만 이용해도 극복 가능한 기술과제임

(가) 지하매설구조물 특성에 대한 철저한 조사결여 및 기술개발을 주도할 리딩컴패니(leading company) 부재에 원인

(나) 설계·시공 및 기술진단도 지질·지하수 전문가 참여가 제한되어 있어, 하자원인을 일반 암반지하수 개발공에서도 보기 드문 현상인 “공무너짐”으로 진단

※ 개방형 지중열교환기는 일반 암반관정 설비내에 지하수 순환설비가 내장되는 수리구조물로서 지하수 순환장애요인 제거 기술만 융합하면 안정성 유지가능한 설비

(다) 국내 암반지하수 부존 유효심도 내에서 취수와 주입기능의 변경이 가능하도록 지열정 간 페어링 시스템을 통해 지하수 순환을 동기화하여 열교환 효율 향상, 시공난이도 완화에 의한 설비의 안정성 등 당면 기술현안해결에 중요한 연구과제

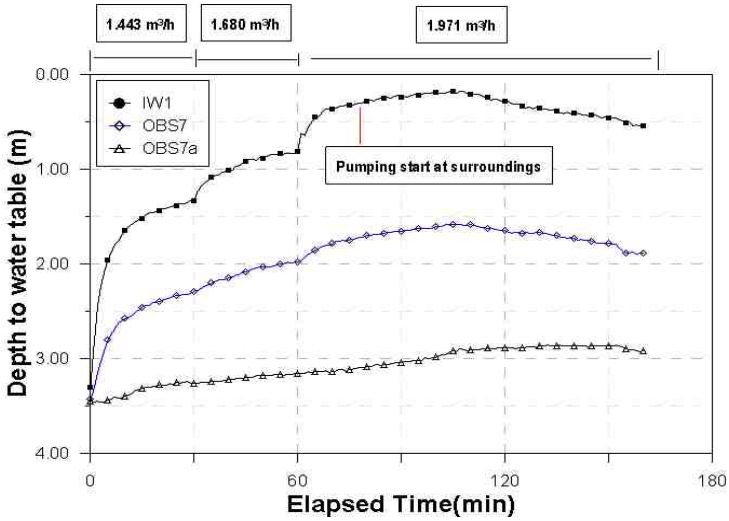
다. 연구개발의 창의성 · 혁신성 등

(1) 창의성

(가) 국내 암반지하수 부존 유효 심도 범위 내의 중형모델 개발

① 열교환 물성을 기존 기술(SCW)의 전도(conduction) 중심에서 대수층 순환식 지중열교환기법(ATES기법)을 이용 이류효과(advection)를 최대한 활성화시키는 지하수열 이용기술

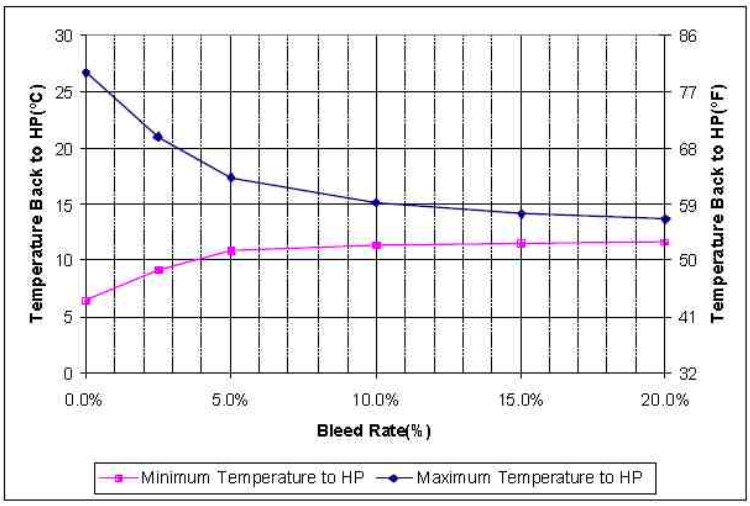
② 취수정과 주입정간의 수두차를 이용, 열교환 후 취수정으로 재환류시켜 안정적 취수기능 유지



〈그림1-3〉 단계주입시험시 수위변화곡선(2015, KIGAM)

③ 주입정에 저장된 지하수열은 냉난방 운전모드에 따라 쌍방향 교번운전 상시가능

④ 주입정 대수층에 축열된 지하수량(25~30%)은 블리딩 효과 상승요인으로 작용하여 열교환 효율 증대→(10~50%)



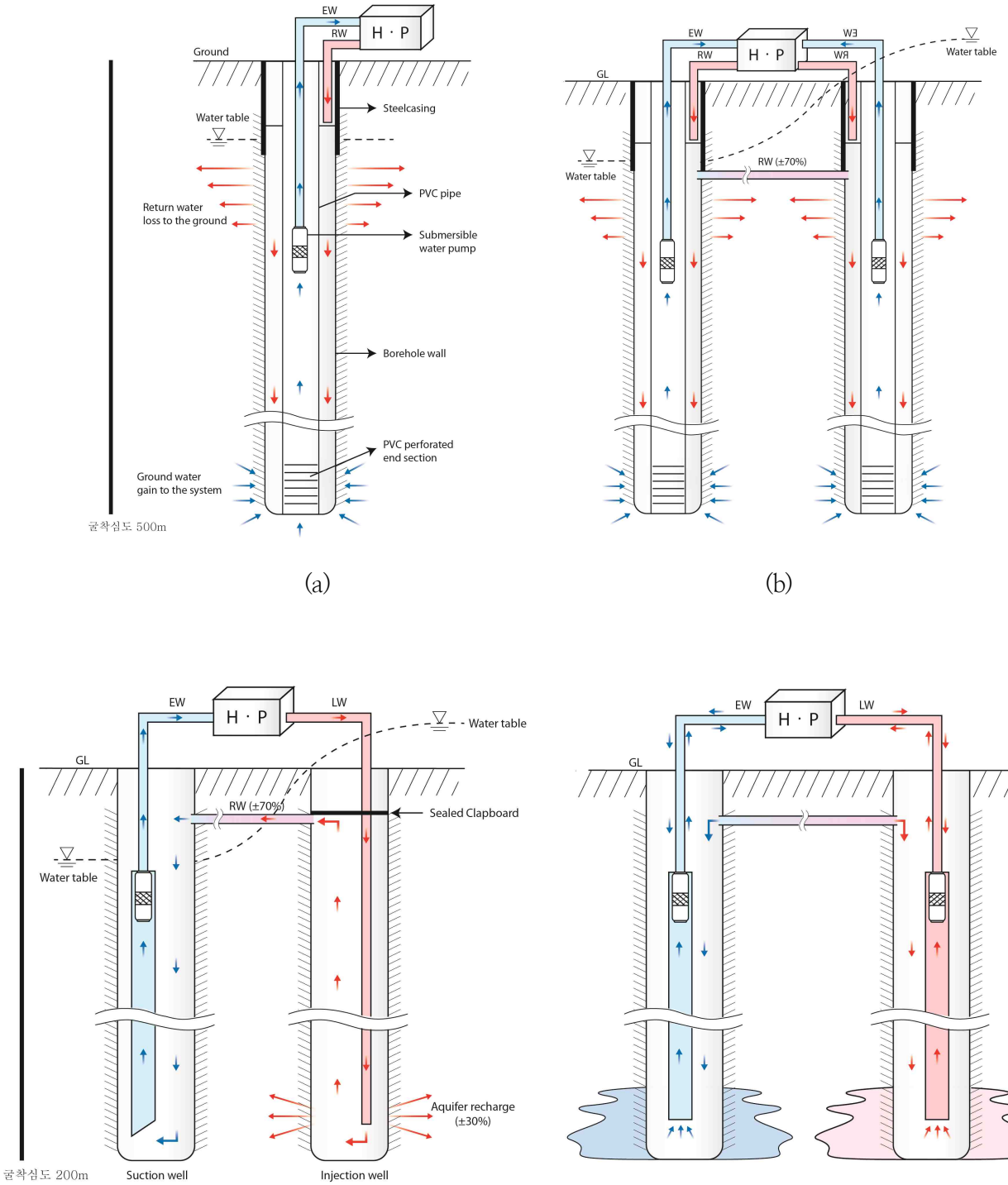
〈그림1-4〉 the effect of bleed rate on the water temperature back to the heatpump.

(나) 다양한 대수층에 적용 가능한 기술의 확장성

① 개발기술은 기 설치되어 있는 SCW 지중열교환기의 성능 증대를 위해 시스템의 변경이 가능

② 동일 운전조건에서 2 well 시스템, 축열에 영향을 받지 않는 개절 가변식 2 Well 시스템의 가동이 가능

③ 시스템의 일부 고장 시 가변식 운전이 가능하여 시스템의 운전 중단시간을 최소화 할 수 있으며 에너지 공백이 발생하지 않음

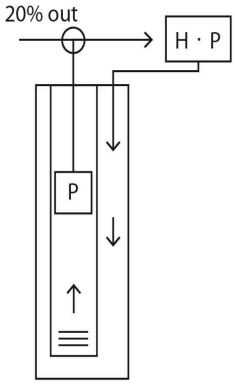
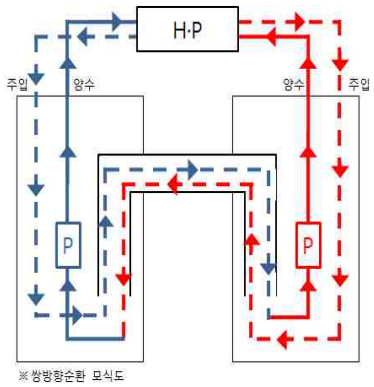


〈그림1-5〉 개발기술의 확정성

(a) 기존 SCW 지중열교환기, (b) 기존 SCW 지중열교환기 개량,

(c) 2 Well 형태의 운전방식, (d) 계절 가변식 운전형태

(2) 혁신성

구분	기존기술(SCW)	신청기술
지하수순환 개념도		
지하수열교환기작 (heat exchange mechanism)	• 동일 지열정내에서 취수(heat source)와 환수(heat sink) 연속순환	• 복수의 지열정을 수평통로(도수관)를 통해 병렬 페어링 한 후 취수·주입기능 중앙제어
열용량 30RT기준 굴착공수 및 심도	• 500± m, 1공	• 250± m×2공(연립관정형)
지열정 굴착비용	• 할증공사비 적용심도: ±300m	• 할증공사비 최소적용
	• 심도200m이상 100m증가 시 마다 10%할증공사비 누진적용	• ±50m 내외
블리딩 효과 (bleeding rate)	• 최대 20%	• 최대 50%
	• 공외 배출 20% 외 80% 지하수는 보온병 효과로 열교환 효율 저하	• ATES기술개발(대수층순환기법) ※[(공외배출 20%)+ (주입정 함양 25~30%)]
지하매설 설비로서의 안정성	• 공곡위험(well-deflection risk) 3~4배 증가 → 지하수 순환설비 특성상 치명적 하자 발생 위험 잠재 ※ 하자발생의 원점	• 국내 평균 암반관정 개발심도 ※ 시공난이도 저감, 공곡위험 최소화 • 청소재생정비 등 유지관리 유리
국내 적용성	• 제한적	• 적합
	• 지하수열 이용설비로서 국내암반 지하수 부존 유효심도(200m)를 넘는 지반 굴착은 비생산적 • 이격거리(15m 이상) 확보상 30RT 초과 설비는 시공부지 확보 곤란	• 국내 암반관정 개발이용 기술 및 설비 안정성 확보

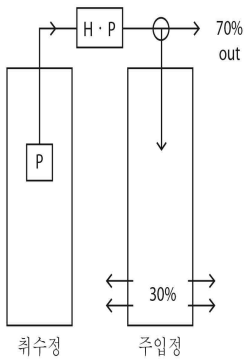
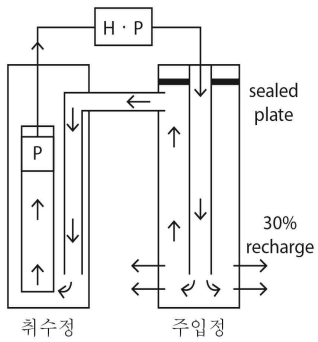
라. 선행 연구 내용 및 결과

(1) 선행연구 과제

부처명	사업명	과제명	예산	비 고
국토교통부 (국토건설교통과학기술원)	수변지하수활용고도화	지질-지하수 융합에너지 활용기술개발	정부:4,800 민간:1,600	

(2) 연구개발과제의 차별화 방안

(가) 연구성격의 차별성

구분	수변지하수연구	신청기술
기술적용성 대상	- 충적층이 잘발달된 수변구역(대량규모)에 국한	- 다양한 상업 및 주거용 건물 적용(대, 중, 소형)
주대수층	- 충적층 지하수(pore water)	- 암반층 지하수(fissure water)
지하수열 추출방식	- 취수정과 주입정의 기능분리	- 취수정과 주입정 지하수의 순환동기화
개념도	 〈충적층지하수〉	 〈암반지하수〉
연구성과 및 목표	- 수변지하수 지하수열 추출, 저장, 지열영향모델링 등 원천기술개발	- 상업용 시작품 개발
효율	- 80±%	- 20~30%↑

(3) 선행연구과제와의 차별화 방안

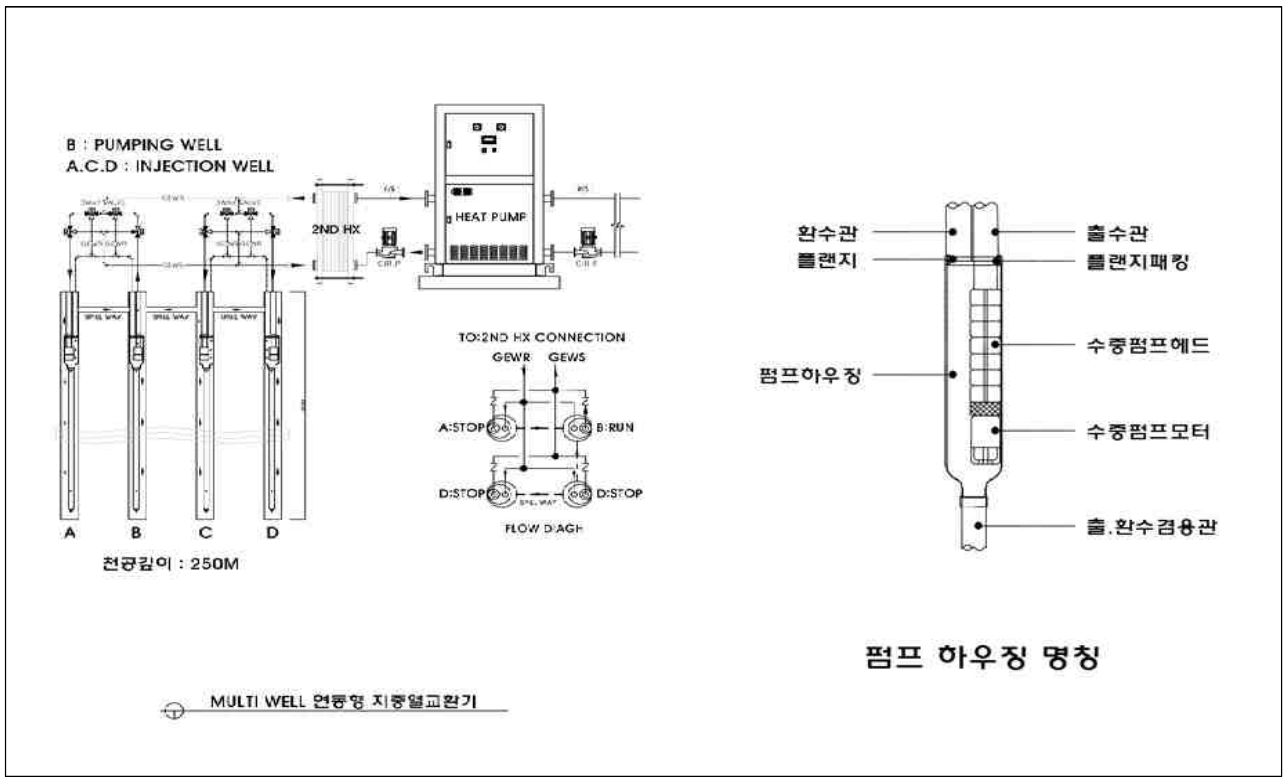
(가) 지하수를 열원으로 하는 에너지원 이용의 대상은 같으나, 신청기술은 기술사업 수요가 충적층이 넓게 분포된 수변지역이 아닌, 암반대지시설농업지역의 암반 지하수를 적용대상으로 수리지질 특성 관점에서 적용되는 지하수 이용기법이 차별화됨

(나) 본 신청기술은 그간 국내의 축적된 암반관정 개발·이용 기술기반위에 건축물수명주기에 부응하는 설비의 안정성, 시공 난이도 완화, 공사비 절감, 에너지 생산효율 등 상품의 기술 경쟁력 확보 중심의 기술개발 연구로 차별화 추진

마. 연구개발의 범위

(1) 연구과제의 최종목표

구분	내용
최종 목표	지하수 열교환효율 10% 증대 및 공사비 10% 절감
세부 목표	① 수리특성이 서로 다른 암반관정 페어링을 통해 지하수 손실 저감 및 냉난방 부하조건에 따라 대수층 축열효과 활용하는 교번운전 시스템을 개발하여 열교환효율 10% 이상 증대 ② 국내 암반 대수층 발달 유효심도로 지열정 굴착심도를 최소화하여 고심도 굴착 시 발생되는 공곡(deflection)에 수반되는 지하수 순환장애 위험 저감 ③ 시공난이도에 따라 할증 공사비 적용대상을 줄여 공사기간 및 공사비 10% 이상 절감 ④ 개발기술의 안정적 운영 및 장기적 관리방안 제시 ⑤ 건설신기술 신청



〈그림 1-6〉 신청기술의 기본 개념도

(2) 연차별 연구 범위

구분	세부목표	세부 연구 목표
1차년도 (2016)	- Test Bed 신정 및 시공 - Test Bed 후보지역의 물리적 화학적 수리지질학적 특징조사 - 국내 개방형 지열시스템의 효율저하 요인 검토 및 문헌조사	- 복수의 지열정 페어링 및 지하수 연동제어기술에 의한 에너지 증대 요인 및 인자도출 - 복수의 지열정 페어링을 활용한 지중열교환 부 설치비 절감 기술 설계인자 도출 - 지하수 연동제어기술 개발을 위한 설계인자 및 알고리즘 정립
2차년도 (2017)	- 개발기술의 현장적용성 검토 - Test Bed 부지의 수리지질학적, 화학적, 물리학적 모니터링 - 장기 시뮬레이션을 통한 지중열교환기 최적 설계기법 검토 - 개발기술의 국내 시장 적용성 검토	- 복수의 지열정 페어링 및 지하수 연동제어기술 현장적용성 검증 - 복수의 지열정 페어링 및 지하수 연동제어기술의 지중열교환 부 설치비 절감 기술개발에 따른 현장 검증 - 복수의 지열정 페어링 및 지하수 연동제어기술 효율향상 현장검증 - Test bed 운영을 통한 현장 실용화
3차년도 (2018)	- 개발기술을 적용한 최적설계기법 제시 - 개발기술의 관리방안 및 매뉴얼 제시 - 에너지효효율 증대 및 시공비 절감 검증 - 개발기술의 보급 및 홍보전략 수립	- 복수의 지열정 페어링 및 지하수 연동제어에 따른 효율향상기술의 최적화 검증 및 기술보완 - 복수의 지열정 페어링 및 지하수 연동제어시스템의 최적설계 및 시공비 저감 시방서 제시 - 복수의 지열정 페어링 및 지하수 연동제어시스템의 관리방안 및 매뉴얼작성 제시 - 개발기술의 국내·외 보급 및 시장성 확보를 위한 홍보전략 수립 - 개발기술의 건설신기술 신청

(3) 성과점검 기준표

[총 괄]

구분	핵심성과 (CTE)		단위성과		성과점검기준						양적 성과 건수
						질적 성과지표	목표치	달성치	측정방법	검증방법	가중치	
주관	1	에너지효율 10% 증대	1-1	Test bed설치 및 운영	①	시스템의 정상적 운영/냉.난방 적용 12개월운영	100	100	현장실사	현장실사	10	특허 : 출원 건 등록 건 논문 : 건 시제품 : 1 건 S/W : 건
			1-2	에너지효율 10% 증대 검증	①	기존 SCW형 시설대비 에너지효율 증대	100	100	현장실사/측정자료	공인기관 성적서	20	특허 : 출원 건 등록 1 건 논문 : 건 시제품 : 건 S/W : 건
	2	시공비 10% 절감	2-1	시공비 10% 절감 검증	①	기존 SCW 50RT 기준 대비	100	100	국가품셈 내역서	국가품셈 비교	20	특허 : 출원 건 등록 1 건 논문 : 건 시제품 : 건 S/W : 건
	3	제어시스템 개발	2-1	지하수 연동제어 기술 개발	①	제어시스템 시제품 개발	100	100	시제품	시제품현장검증	20	특허 : 출원 건 등록 건 논문 : 건 시제품 : 1 건 S/W : 건
공동 (지오/부산대)	1	에너지효율 10% 증대	1-1	에너지효율 10% 증대를 위한 요인인자 검토	①	요인인자에 대한 논문등제 및 전문가검증	100	100	논문게제 여부	논문게제 여부	10	특허 : 출원 건 등록 건 논문 : 3 건 시제품 : 건 S/W : 건
	2	지속적 관리 방안	1-2	에너지효율 10% 증대 검증	①	요인인자에 대한 논문등제 및 전문가검증	100	100	논문게제 여부	논문게제 여부	10	특허 : 출원 건 등록 1 건 논문 : 2 건 시제품 : 건 S/W : 건
지열지하수협회	1	에너지효율 10% 증대	3-1	기술의 보급 및 홍보	①	연구종료 전 개발기술의 판매	5억	5억	계약서	계약서	10	특허 : 출원 건 등록 건 논문 : 건 시제품 : 건 S/W : 건
계											100	특허 : 출원 건 등록 2 건 논문 : 5 건 시제품 : 2 건 S/W : 건

[3차년도]

구분	핵심성과 (CTE)		단위성과		성과점검기준						양적 성과 건수
						질적 성과지표	목표치	달성치	측정방법	검증방법	가중치	
주관	1	에너지효율 10% 증대	1-1	에너지효율 10% 증대 검증	①	기존 SCW형 시설대비 에너지효율 증대	100	100	현장실사/측정자료	공인기관 성적서	20	특허 : 출원 건 등록 건 논문 : 건 시제품 : 1 건 S/W : 건
	2	사공비 10% 절감	2-1	시공비 10% 절감 검증	①	기존 SCW 50RT 기준 대비	100	100	국가품셈 내역서	국가품셈 비교	20	특허 : 출원 건 등록 1 건 논문 : 건 시제품 : 건 S/W : 건
지오/부산대	1	에너지효율 10% 증대	1-2	에너지효율 10% 증대를 위한 요인인자 검토	①	요인인자에 대한 논문등제	100	100	논문게제 여부	논문게제 여부	20	특허 : 출원 건 등록 건 논문 : 1 건 시제품 : 건 S/W : 건
지하수지열협회	3	에너지효율 10% 증대	1-2	기술의 보급 및 홍보	①	연구종료 전 개발기술의 판매	5억	5억	계약서	계약서	30	특허 : 출원 건 등록 건 논문 : 건 시제품 : 건 S/W : 건
계											100	특허 : 출원 건 등록 1 건 논문 : 1 건 시제품 : 1 건 S/W : 건

바. 기술개발 성숙도

(1) 2007년 국내 기술수준이 선진국의 57.8%로 평가되었으나 최근 정부 및 민간의 기술개발로 인해 지열냉난방시스템 분야의 기술수준이 크게 향상되는 것으로 평가됨

(2) 본 연구과제를 통해 개발되는 기술과 관련된 특허를 주관기관에서 보유하고 있으므로 연구착수 시에는 TRL 8단계인 시제품 설치 및 성능시험 단계의 수준으로 평가되며 연구종료 시에는 현장에 적용하고 사업화를 추진할 예정이므로 TRL 9인 사업화 단계로 기술개발성숙도가 증가될 것으로 평가됨

사. 본 연구개발 기술의 기술개발성숙도 평가

구분		연구 착수	연구 종료	단계별 설명
기초연구 단계	TRL 1	□	□	
	TRL 2	□	□	
실험 단계	TRL 3	□	□	
	TRL 4	□	□	
시작품 단계	TRL 5	□	□	
	TRL 6	□	□	
실용화 단계	TRL 7	□	□	
	TRL 8	■	□	
사업화 단계	TRL 9	□	■	

2. 국내외 기술개발 현황

가. 국내현황

(1) 2015.12 파리기후변화 협상(COP21)에서 약속한 탄소배출량 감축 의무목표 이행

(가) 우리나라는 2030년 배출 전망치 대비(BAU) 37% 감축, 최종 사용에너지의 80%를 냉난방열에너지 활용

(2) 기후변화협약 규제환경변화에 대응하기 위해 『제4차 신재생에너지 기본계획』 수립

(가) 계획기간(2014년~2035년) 중 1차 에너지의 11% 신재생에너지로 공급

(나) 이 기간 중(14'~35') 지열 에너지 비중은 연평균 18%(0.7→8.5) 성장 전망

(다) 전력 예비율 관점에서도 피크타임 시 건축물 냉난방 소비 전력 저감 필요성 대두

(3) 지난 5년간 지열에너지 산업은 공공기관 지방 이전에 따른 청사 신축 규모가 폭증하면서 공공 의무화 설치사업에 이용된 전체 에너지원의 약 72%를 점유하는 핵심에너지원으로 부각

(가) 지열에너지가 타 에너지원에 비해 1차 에너지 고도이용효율이 가장 유리

※ 국내 에너지 최대 공기업인 '한국전력공사' 신축청사에도 100% 지열에너지 적용

(4) 민간건축물 1만m^2 이상에 대해 신재생에너지 설치를 의무화하여 RHO제도 시행 임박

(가) 서울시는 자체조례로 일정규모의 신축건물에 에너지 사용량의 18%를 신재생에너지 사용 의무화

(나) 민간 부분에서도 공공의무화 설치에서 나타난 지열에너지 점유율 수준인 70% 예상

(다) 20~30년 후에는 우리나라 모든 건축물의 냉난방시스템의 약 70%가 지열시스템 활용전망

(5) 일부 아파트 재건축단지에서 지열시스템 용량이 1,000RT에 이르고 있고, 단지 당 100억 규모의 대형 지열사업이 속출하고 있는 양적성장에 비해 지열기술개발 수준 미흡으로 설비 안전성 사회이슈화

(가) 지방행정연수원, 광명 IKEA 등과 유사한 대형건물 하자발생이 동시다발적으로 일어나 기술 신뢰도 문제가 사회적 이슈로 부각될 경우 지열산업 전체 붕괴 위험 직면

(6) 올해 국토교통부에서는 7대 신산업과제 중 파리기후변화협약을 뒷받침을 위한 "제로에너지빌딩"을 선정하고 전담 조직 설치 및 R&D투자 집중 추진계획 공표

(가) 동 제로에너지 빌딩 정책 추진에도 지열이용기술이 중요역할 담당

(나) 지하수법 제9조의 7(지하수의 냉난방에너지원으로 이용 등)에 의거 국토부장관은 지하수를 냉난방에너지원으로 이용하는데 필요한 시책 뒷받침 필요

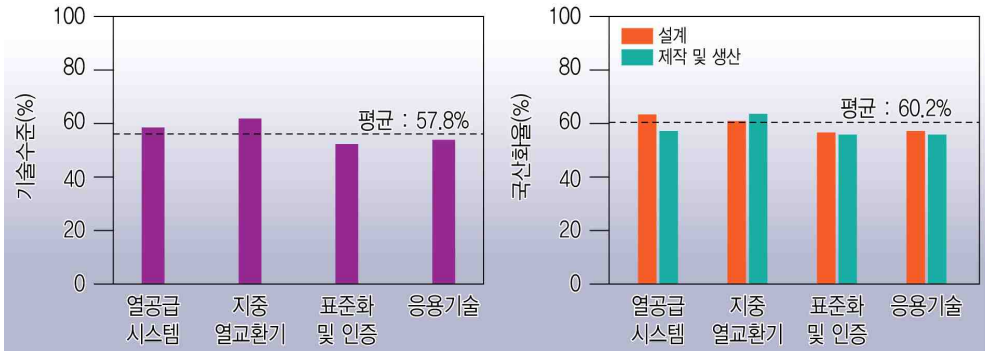
나. 국내 시장규모 현황

(1) 국내 지열냉난방시스템 관련 기술개발 동향

구 분	기술개발 내용
원천기술 개발	• 수직 밀폐형 지중열교환기의 최적 설계를 위한 그라우팅 재료 개발 • 현장 열응답 시험 기법을 이용한 지중 유효 열전도도 DB 구축
상용화기술 개발	• 지하수 축열 시스템 개발 • 단일 관정(스탠딩컬럼웰)을 활용한 지열원 냉난방 시스템 개발 • 연구와 건물 구조물(파일)을 지중열교환기로 활용하기 위한 기술
실증연구	• 공동주택(아파트)에 지열원 냉난방 시스템을 적용하기 위한 실증 연구 • 에너지파일과 에너지슬래브를 활용한 지열원 냉난방 시스템의 실증 연구
기 타	• 용량 가변형 지열원 다중공간 냉난방 시스템 • 자연냉매를 적용한 고효율 지열 냉난방 및 급탕시스템 개발 • 친환경 대체냉매 적용 지열원 냉난방 유닛 설계 및 최적화에 관한 연구

(2) 최근까지 정부(지식경제부) 주도로 기술개발이 이루어져 2007년 기준, 국내 지열관련 기술수준과 국산화율은 각각 57.8%와 60.2%(설계=61.3%, 제작/생산=59.2)인 것으로 평가되었음(강신영 외, 2007)

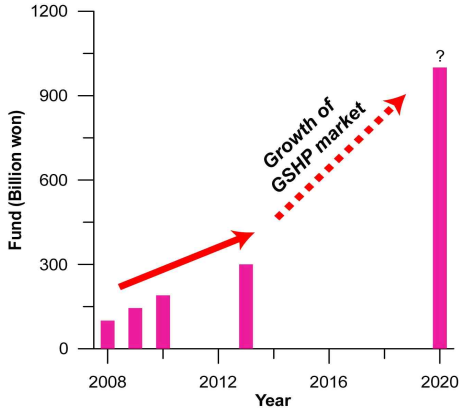
(3) 핵심기술 중 장비개발, 설계 및 시공기술 분야의 기술수준은 상대적으로 높은 반면에 응용기술 및 표준화/인증기술 분야의 기술수준은 상대적으로 낮게 평가되었음(강신영 외, 2007)



〈그림 2-1〉 2007년 기준, 국내 지열관련 기술 수준 및 국산화율(강신영 외, 2007)

(4) 국내 지열에너지 시장은 2008년에 연간 약 1,000 억 원 규모에서 2013년에는 약 3,000억 원까지 성장하였으며(전자신문, 2012; 한국에너지, 2013), 정부의 온실가스 감축기술 전략 방향으로 지열냉난방시스템 분야의 기술개발이 지속적으로 이루어질 전망임

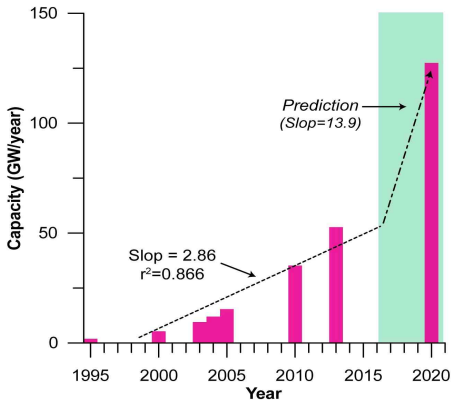
(5) 2010~2017년까지 시설농업분야에 친환경사업으로 약 1 조 원의 사업비가 투자되고 있으며(안형준, 2012), 이 사업을 통해 지열냉난방시스템의 보급이 급격히 증가할 것으로 예상되므로 국내 지열에너지 시장 규모는 더욱 성장할 것임



〈그림 2-2〉 2007년 기준, 국내 지열관련 기술 수준 및 국산화율(강신영 외, 2007)

다. 국외 현황

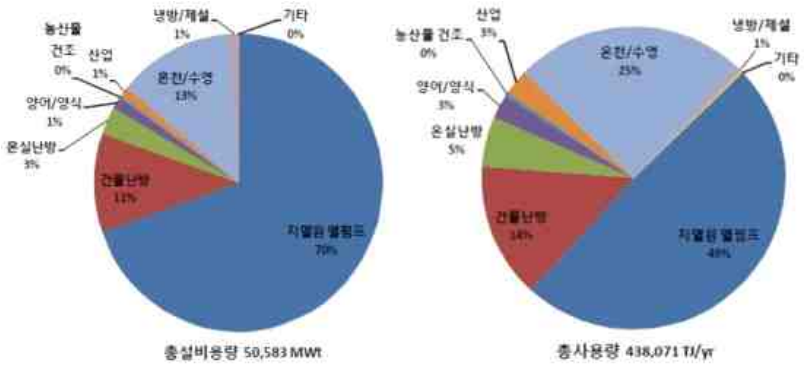
(1) 최근 20년 동안 지열 냉난방시스템은 독일, 스위스, 오스트리아, 스웨덴, 덴마크, 노르웨이, 프랑스, 미국, 캐나다, 네덜란드, 중국 등에서 빠르게 성장하였으며, 다양한 연구가 진행되었음



〈그림 2-3〉 1995~2020년까지 국외 지열시스템 설치 현황 및 예측

(2) 연중 늘 일정한 온도를 유지하는 땅속 열을 새로운 에너지원으로 활용하려는 각국의 움직임은 최근 들어 부쩍 활발해지고 있다. 에너지관리공단에 따르면 2010년 세계 78개국에서 공급된 지열에너지 용량은 총 51기가와트로 2005년 대비 약 80% 늘었다. 51GW는 1000메가와트(MW)급 원전 51기에 해당하는 규모

(3) 지질자원연구원이 2010년 발표한 보고서에 따르면 세계적으로 지열설비용량이 많은 나라는 미국, 중국, 스웨덴, 노르웨이, 독일 순으로 이 5대국이 전체용량의 60%를 차지하고 있다. 전 세계 지열설비용량의 약 70%에 해당하는 35GW가 지열원 열펌프로 냉난방시스템을 가동하는 설비다. 지열에너지 이용량이 많은 나라는 중국, 미국, 스웨덴, 터키, 일본 순이다.



〈그림 2-4〉 2010년 지열 직접이용 설비용량 및 사용량

(4) 전통적으로 지역난방, 온천 및 수영장, 온실 및 양어·양식이 큰 비중을 차지했으나 2000년 이후부터 지열원 열펌프가 폭발적으로 증가

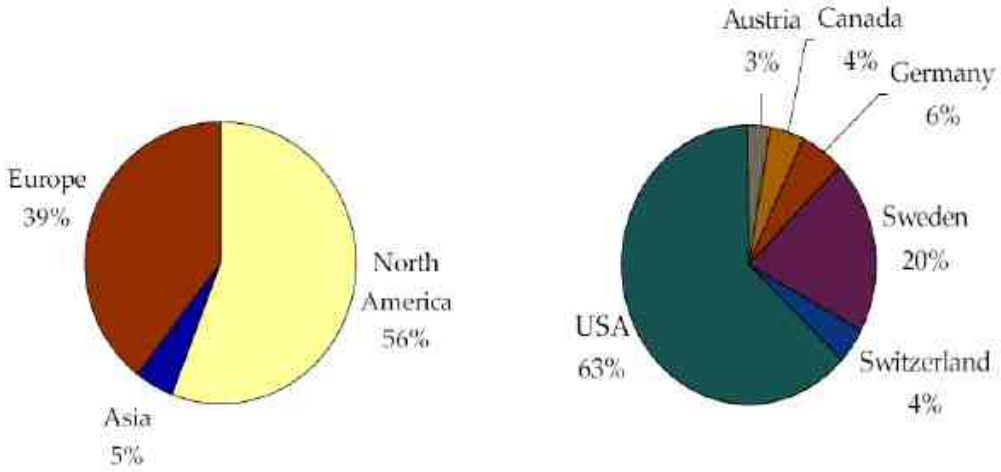
라. 국외 시장 규모 현황

(1) 2013년 기준 국외 지열냉난방시스템 시장은 약 15조 4천억~16조 원 규모임.(산업통상자원부, 2014) 국외시장 중에 미국이 약 11조원, EU를 포함한 기타 국가들이 약 5조원을 점유하고 있으며 향후 미국을 중심으로 지속적으로 성장할 것으로 전망됨(산업통상자원부, 2014)

(2) 국외 지열냉난방시스템 시장은 미국, 스웨덴, 스위스, 독일, 캐나다, 오스트리아를 중심으로 형성되어 있으며 이 중에서 미국의 시장 규모가 가장 큼,(Goetzler et al., 2009)

(3) 지열냉난방시스템의 시장규모가 가장 큰 미국은 2005년 까지 약 1,000,000 개 시설이 설치되어 있으며, 매년 약 60,000 개의 시설이 신설되었음(Goetzler et al., 2009)

(4) 미국 다음으로 시장 규모가 큰 유럽에서는 2005년 까지 690,000개 시설에 지열 냉난방시스템이 설치되었으며, 2006년에도 100,000개 이상의 시설이 설치되었음(Geotzler et al., 2009)



〈그림 2-5〉 2005년 기준 국외 지열냉난방시스템 규모(Curtis et al., 2005; Lund et al., 2005)

3. 연구수행 내용 및 성과

가. Test bed 설치 및 운영

(1) 개발기술 적용을 위한 Test bed 후보지 선정

연구과제는 기존 개방형 지중열교환기술과 연구개발기술인 복수의 지열정 페어링 및 지하수 연동제어기술과의 열효율 및 시공비 비교가 연구수행 방향이므로 다음과 같은 사항을 고려하여 Test bed 대상시설을 선정함.

(가) 기존 지열냉난방시스템 운영 및 구축계획이 있는 시설

(나) 기존 개방형 지중열교환기술과 복수의 지열정페어링 및 지하수연동제어기술을 동일한 조건으로 연속적으로 에너지 공급을 하기 위한 부하면적(각 25RT)을 가진 시설

(다) 연구과제기술과 기존기술을 적용하기 위해 지열공의 굴착이 필요하며, 각각의 기술이 적용된 지열공이 각 지열공에 열간섭을 받지 않을 최소한의 간격(15m 이상)을 이격시켜 굴착이 가능한 면적을 가진 곳을 후보지로 함.

(라) 연구과제가 종료된 후 연구시설은 시설에 인계하여 보존존치를 할 것이며, 연구종료 후 연구시설 사용시 다수에게 혜택을 줄 수 있도록 공익목적인 시설

(2) 후보지 선정 및 현장답사

총 4개지역에 대한 후보시설에 대한 현장검토 결과 삼육대학교 중앙도서관을 Test bed 설치지역으로 선정함.

(가) 한국과학기술연구원 강릉분원(강릉KIST)

① 현장답사 결과

◦ 현장의 부지 및 건물의 냉난방 부하는 적절하나 시스템 접목하기 어려움

◦ 국가보안시설이므로 시설의 개방에 문제가 있음

(나) 강릉 연꽃마을 노인요양원

① 현장답사 결과

◦ 지열공을 굴착부지 협소

◦ 요양원 내 공조시설이 설치되어있지 않아 지중열교환기 적용에 어려움

(다) 충청북도 장애인 종합복지관(1차)

① 현장답사 결과

◦ 지열공을 굴착부지 협소

◦ 요양원 내 공조시설이 설치되어있지 않아 지중열교환기 적용에 어려움

◦ 보일러실 구조 확인 : 지열시스템의 설치가능면적 확인

◦ 지열공 굴착지역 실측결과 굴착을 위한 공간 확보가능하나 설치기간동안 주차공간 및 장애인의 이동에 애로사항 발생

◦ 연구과제 적용 시 건물 내 설치된 노후된 팬코일의 교체필요〈그림 3-1〉.

◦ 펜코일 및 추가 부담비용 발생으로 도청의 허가 후 연구과제 적용가능



(a) 충청북도 장애인종합복지관 전경



(b) 연구과제 협의를 위한 회의



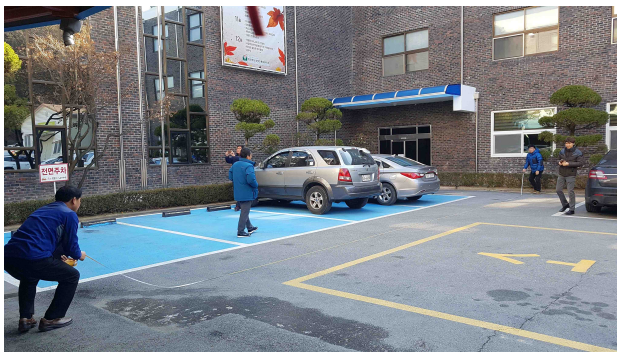
(c) 펜코일



(d) 기계실 내부1



(e) 기계실 내부2



(f) 지열공설치지역 실측

〈그림 3-1〉 충청북도 장애인종합복지관 현장답사 사진

(라) 삼육대학교

① 현장답사 결과

◦ 삼육대학교 내 건물의 냉난방부하가 충분한 건물 다수 있음.

◦ 4계절 연구시설 가동을 위해 중앙도서관이 최적지로 판단.

◦ 히트펌프 및 열교환기 설치를 위한 기계실 공간 확보됨, 가동중인 공조기 활용가능.

◦ 학교측에서 연구과제 적용에 긍정적.

◦ 개강 전까지 굴착공사 완료 요청.



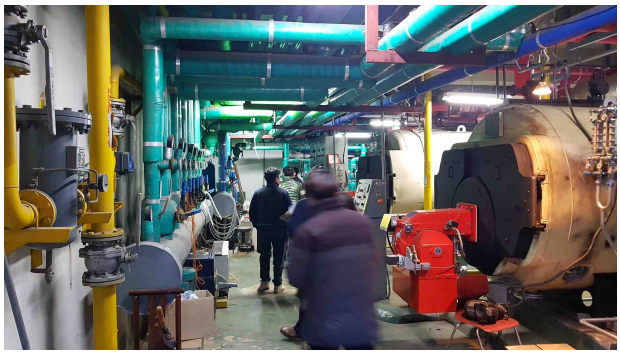
(a) 삼육대학교 연구과제 협의를 위한 회의1



(a) 삼육대학교 연구과제 협의를 위한 회의2



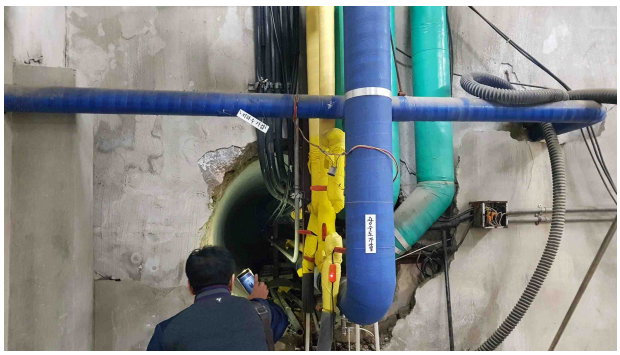
(b) 공동기계실1



(d) 공동 기계실2



(e) 도서관 기계실 내부1



(f) 도서관 기계실 내부2

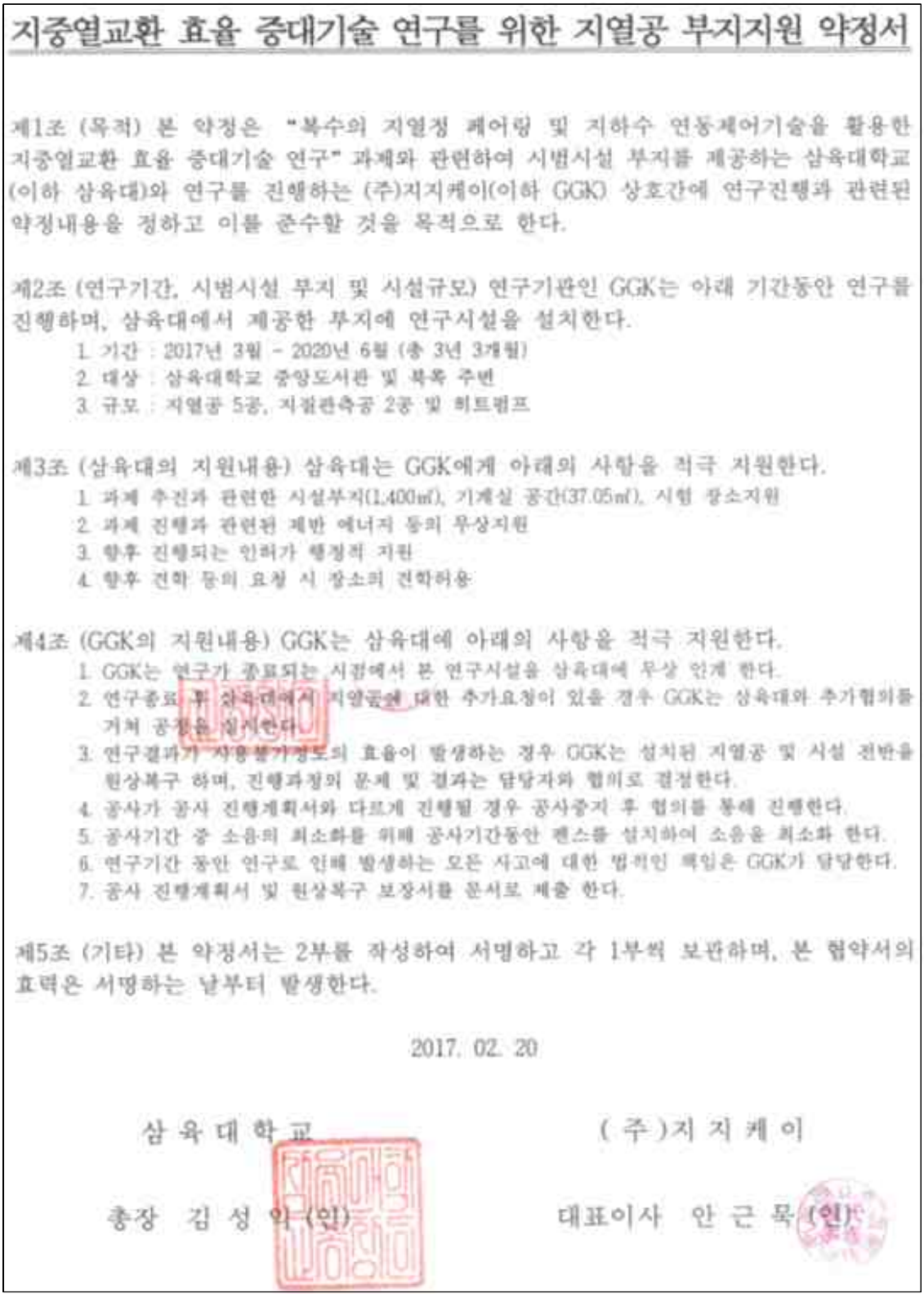


(g) 삼육대학교 지열공 예상위치도(□ : 지열공 예상위치, ● : 공동기계실 ● : 도서관 기계실)

〈그림 3-2〉 삼육대학교 현장답사 사진

(3) Test bed 선정

Test bed 선정기준에 기초하여 후보지 검토 후 후보지와의 협의결과 삼육대학교를 연구과제 적용지역으로 선정 후 삼육대학교와 2017년 2월 20일 연구과제 진행을 위한 약정서를 작성함.



지중열교환 효율 증대기술 연구를 위한 지열공 부지지원 약정서

제1조 (목적) 본 약정은 "복수의 지열정 제어링 및 지하수 연동제어기술을 활용한 지중열교환 효율 증대기술 연구" 과제와 관련하여 시범시설 부지를 제공하는 삼육대학교(이하 삼육대)와 연구를 진행하는 (주)지지케이(이하 GGK) 상호간에 연구진행과 관련된 약정내용을 정하고 이를 준수할 것을 목적으로 한다.

제2조 (연구기간, 시범시설 부지 및 시설규모) 연구기관인 GGK는 아래 기간동안 연구를 진행하며, 삼육대에서 제공한 부지에 연구시설을 설치한다.

1. 기간 : 2017년 3월 - 2020년 6월 (총 3년 3개월)
2. 대상 : 삼육대학교 중앙도서관 및 북측 주변
3. 규모 : 지열공 5공, 지질관측공 2공 및 히트펌프

제3조 (삼육대의 지원내용) 삼육대는 GGK에게 아래의 사항을 적극 지원한다.

1. 과제 추진과 관련한 시설부지(1,400㎡), 기계실 공간(37.05㎡), 시험 장소지원
2. 과제 진행과 관련된 제반 에너지 등의 무상지원
3. 향후 진행되는 인허가 행정적 지원
4. 향후 견학 등의 요청 시 장소의 견학허용

제4조 (GGK의 지원내용) GGK는 삼육대에 아래의 사항을 적극 지원한다.

1. GGK는 연구가 종료되는 시점에서 본 연구시설을 삼육대에 무상 인계 한다.
2. 연구종료 후 삼육대에서 지열공에 대한 추가요청이 있을 경우 GGK는 삼육대와 추가협의를 거쳐 공정을 실시한다.
3. 연구결과가 사용불가정도의 효율이 발생하는 경우 GGK는 설치된 지열공 및 시설 전반을 원상복구 하며, 진행과정의 문제 및 결과는 담당자와 협의로 결정한다.
4. 공사가 공사 진행계획서와 다르게 진행될 경우 공사중지 후 협의를 통해 진행한다.
5. 공사기간 중 소음의 최소화를 위해 공사기간동안 펜스를 설치하여 소음을 최소화 한다.
6. 연구기간 동안 연구로 인해 발생하는 모든 사고에 대한 법적인 책임은 GGK가 담당한다.
7. 공사 진행계획서 및 원상복구 보장서를 문서로 제출 한다.

제5조 (기타) 본 약정서는 2부를 작성하여 서명하고 각 1부씩 보관하며, 본 협약서의 효력은 서명하는 날부터 발생한다.

2017. 02. 20

삼 육 대 학 교

총장 김 성 익 (인)

(주)지 지 케 이

대표이사 안 근 목 (인)

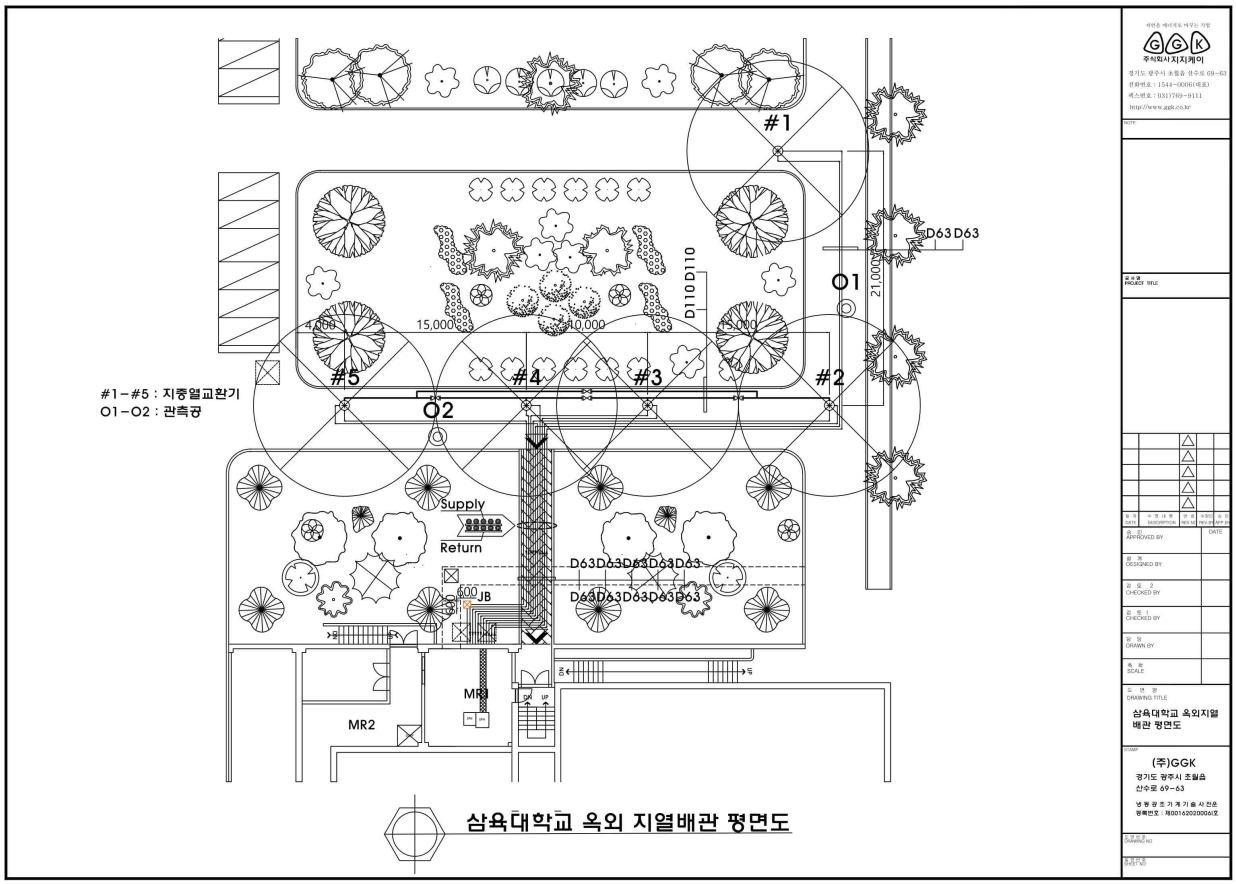
〈그림 3-3〉 연구과제 실시를 위한 약성서

(4) Test bed의 지열공 굴착

(가) 선정지역 조사 및 지열공 굴착

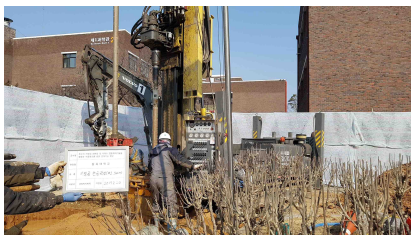
연구과제의 1차년도 성과목표인 test bed 설치를 위해 국토교통부의 “지하수개발·이용 시설공사 설계 실무요령”의 지하수 개발공사를 기본으로 진행함. 연구의 목적에 따라 지열공의 심도 및 지열공의 굴착공 개수는 우선 설계하여 진행하였으며, 지하수 영향조사의 결과를 바탕으로 2차년도 연구계획을 수립 할 예정임.

기존 계획은 페어링을 위한 지열공(250m)의 간격을 동일하게 배치하며, 개방형지열공(500m)과의 거리를 충분히 이격시켜 열간섭을 없도록 설계함. 그러나 test bed 지역의 지열공 설치지점의 현장상황에 맞추어 지열공을 1열로 나열하였으며, 개방형지열공의 위치를 이격시키는 형태로 지열공 굴착을 계획하였음〈그림 3-4〉.



〈그림 3-4〉 지열공 굴착위치도(#1 : 500m, #2-#5 : 250m, O1, O2 : 70m)

〈표 3-1〉 지열공 굴착결과

공번 (굴착일)	굴착 구경 (mm)	굴착 심도 (mm)	굴착사진	
1호공 (20 ~23)	300	29		
	200	500		
2호공 (23 ~24)	300	31		
	200	260		
3호공 (23 ~24)	300	30		
	200	266		
4호공 (22 ~23)	300	28		
	200	254		
5호공 (20 ~21)	300	26		
	200	250		

(나) 공내촬영

공내촬영을 통해 지열공의 굴착심도와 공내 슬라임 퇴적상태 확인, 공내 대수성부위 관찰, 케이싱 하단부와 기반암과의 접촉상태 등의 확인목적으로 2017년 3월 21일에 공내촬영을 실시함.

〈표 3-2〉 지열공별 케이싱 높이

	1호공	2호공	3호공	4호공	5호공
높이(m)	0.1	0.33	0.52	0.31	0.32

① 1호공 촬영결과

구분	굴착내용		내부케이싱	
	구경(mm)	심도(m)	구경(mm)	심도(m)
1호공	-	499.74	140	185.51
			125	314.23
			총 심도	499.74
비고 : 굴착후 내부케이싱 삽관으로 외부케이싱 심도 및 대수층 확인 불가				

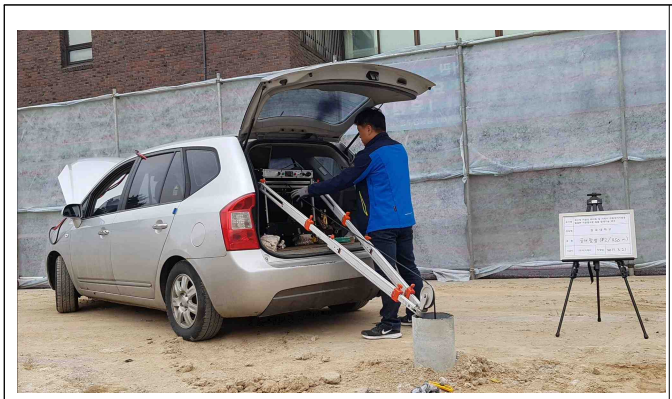
(단위 : G.L -)

<table>
<tr><td>  </td><td> 
</td></tr>
<tr><td>1호공 주변 전경</td><td>자연수위 - 9.40m</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>내부케이싱 구경 변경(140mm →125mm) - 185.51m</td><td>유공관설치 - 474.28m~ 499.74m</td></tr>
<tr><td> 
</td><td></td></tr>
<tr><td>공 최하단부 : 499.74m</td><td></td></tr>
</table>

② 2호공 촬영결과

구분	굴착내용		외부케이싱	
	구경(mm)	심도(m)	구경(mm)	심도(m)
2호공	250	31.14	250	31.14
	200	228.85		
	총심도	259.99		
비고 : 공 하부의 대수층 발달 미비로 하단부의 탁도가 높음				

(단위 : G.L -)



2호공 주변 전경



자연수위 - 9.13m



케이싱 하단부 : 31.14m



파쇄대 46.42m



공 최하단부 : 259.63m

③ 3호공 촬영결과

구분	굴착내용		외부케이싱	
	구경(mm)	심도(m)	구경(mm)	심도(m)
3호공	250	29.67	250	29.67
	200	236.66		
	총심도	266.33		
비고 : 파쇄대가 68~70m 지점에 관찰됨, 이후 탁도가 높아지는 것이 관찰되며, 공 최하단부에서 탁도가 낮아지는 것으로 보아 공 최하단부 아래에 대수층이 존재한 것으로 사료됨				

(단위 : G.L -)



3호공 주변 전경



자연수위 - 8.95m



케이싱 하단부 - 29.67m



파쇄대 - 68.62m

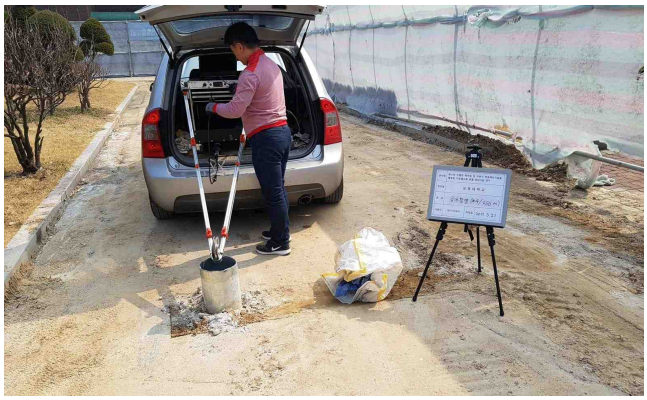


공 최하단부 - 266.33m

④ 4호공 촬영결과

구분	굴착내용		외부케이싱	
	구경(mm)	심도(m)	구경(mm)	심도(m)
4호공	250	28.35	250	28.35
	200	225.66		
	총심도	254.01		
비고 : 파쇄대가 47~48m 지점에 관찰됨, 이후 지하 200m 이후로 탁도가 높아지는 것이 관찰됨.				

(단위 : G.L -)



4호공 전경



자연수위 - 8.09m



케이싱 하부 - 28.35m



파쇄대 - 47.69m



공 최하단부 - 254.01m

⑤ 5호공 촬영결과

구분	굴착내용		외부케이싱	
	구경(mm)	심도(m)	구경(mm)	심도(m)
5호공	250	25.80	250	28.35
	200	224.2		
	총심도	250		

(단위 : G.L -)



5호공 전경



자연수위 - 9.18m



케이싱 하부 - 25.80m



파쇄대 - 27.05m



파쇄대 - 39.79m



공하단부 - 254.34m

(다) Test Bed 시설 설치

① 열전도도 테스트

굴착된 지열공의 생산 가능한 지중열량을 알아보기 위해 열전도도 시험을 (주)NCT를 통해 실시하였다. 현장실험은 SCW 방식으로 굴착된 1호공과 지열정 페어링을 실시 예정이였던 2호공과 4호공을 연결하여 2회의 시험을 2017년 5월 26일부터 6월 1일까지 실시하였다. 시험방법은 라인소스방법(Line Source Theory)을 이용하여 열전도도를 측정하였으며, 각 시험결과가 연구과제 진행을 위한 충분한 열전도도 값을 보이는 것으로 판단되었으며, 측정결과는 아래와 같다.

〈표 3-3〉 열전도도 측정 결과

시험항목	단위	기존 SCW 지열공	2way 방식 지열공
지중초기온도	℃	20.13	16.61
입출구 평균온도차	℃	5.70	6.10
평균 투입열량(Q)	W	122,166	122,116
순환수 전달열량(*QW)	W	103,954	104,317
에너지평형(표준편차)	%	1.113	0.921
기울기(k)	-	5.8423	5.3190
유효열전도도(λeff)	W/m.K	2.944	3.369

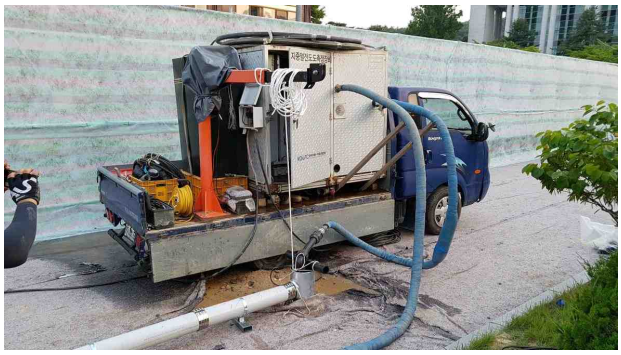
*QW = mCp,w(Tin-Tout) m : 순환수 질량유량(kg/s), Cp,w : 비열(J/kg℃)



(a) SCW 방식 지열공 열전도도 시험



(b) SCW 방식 지열공 열전도도 시험



(c) 2 well 방식 지열공 열전도도 시험

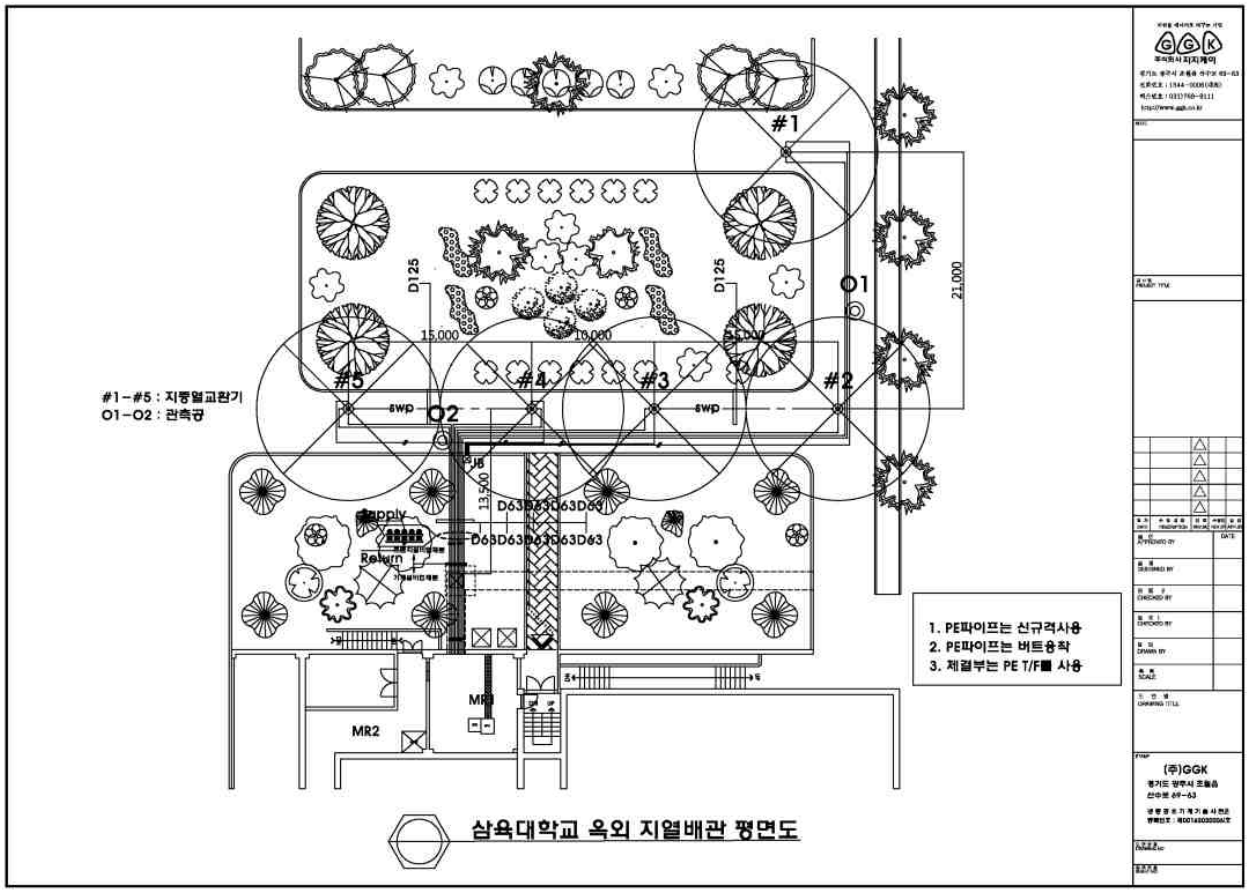


(d) 2 well 방식 지열공 열전도도 시험

〈그림 2-1〉 열전도도 시험

(라) Test Bed 시설 설치

굴착된 지열공의 지하수영향조사 결과 및 굴착시 확인되는 양수가능량을 통해 지열공의 수리지질학적 특성이 상이한 부분이 확인되었으며, 수리특성을 기초로 하여 2 well 방식과 계절가변형 방식을 설치할 지열공을 선택하여 설치를 실시하였다〈그림 3-5〉.



〈그림 3-5〉 삼육대학교 옥외 지열배관 평면도

지하수영향조사를 통해 확인된 수리지질학적특징은 평면도에서 보이는 2번공은 양수가능량이 낮으며, 그 외의 1번, 3~5번공은 열교환을 위한 양수가능량이 충분한 것으로 판단되었다. 이를 근거로 1번공은 기존 SCW 시스템을 적용하며, 2번공과 3번공은 2 well 방식을 적용하여 3번공에서 양수한 지하수가 열교환기를 거쳐 2번공으로 환수되어 열회복을 거쳐 3번공으로 유입되어 추가적인 열회복을 할 수 있도록 적용하였다. 4번공과 5번공은 양측 지열공에 수중모터펌프를 설치하여 계간축열 및 교번운전이 가능한 계절가변형 방식을 적용하였다.

① 지열열교환기설비 설치

2017년 7월 1일부터 Test Bed의 지열열교환기설비의 설치공사가 진행되었으며, 지열공에서 중앙도서관 내부 기계실까지의 트렌치배관 설치 및 연결작업의 지열열교환기설치와 히트펌프, 배관, 축열조, 자동제어시스템 등의 기계실 내 장비설치를 진행하였다.

지열열교환기시설의 설치는 '터파기 – 지열공상부보호공 설치 – 배관연결 – 되메우기– 도로포장'순으로 진행되었으며, 2017년 7월 1일부터 동년 8월 15일까지 진행되었다.



(a) 터파기



(b) 지열상부보호공 설치



(c) 지열상부보호공 설치완료



(d) 트렌치배관 설치



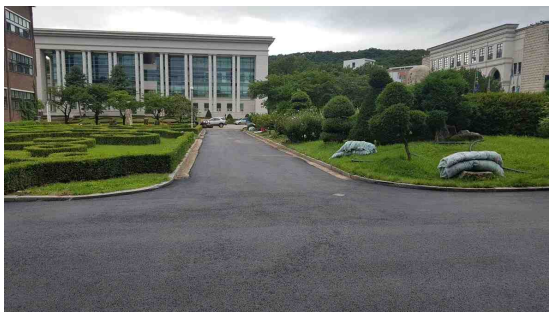
(e) 트렌치배관 – 내부시설간 연결



(f) 되메우기



(i) 도로포장



(j) 포장완료

〈그림 3-6〉 지열열교환기설비 설치

② 기계실장비설치

- 기계실지열장비설치는 '장비반입 - 배관류설치 - 자동제어시스템 설치' 순으로 진행되었으며, 2017년 7월 18일부터 동년 8월 16일까지 진행되었다.
- 자동제어시스템은 PC를 통해 지열시스템의 가동상태 모니터링 및 운전제어를 하며, 연구과제의 목표인 기존기술과 개발기술의 운전효율 비교분석을 위해 운영데이터를 1분 및 1시간 간격으로 계측하도록 구성하였다. 또한, 원격제어프로그램을 통해 외부에서 운전 모니터링 및 운전제어를 가능하게 하였다.



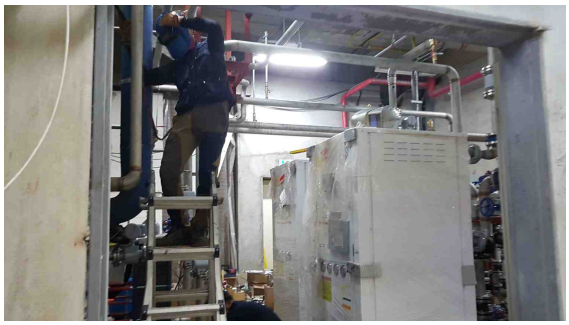
(a) 장비반입



(b) 장비설치



(c) 배관설치



(d) 자동제어시스템 설치



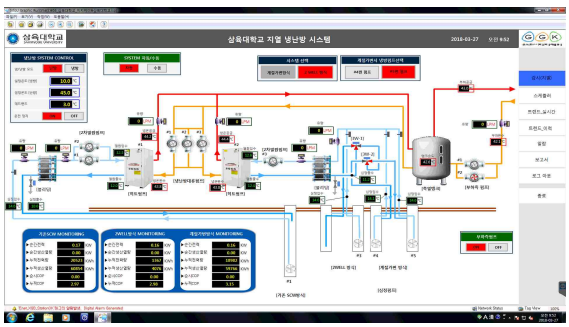
(e) 기계실 내부시설 완료



(f) 자동제어시스템(MCC, 제어판넬)



(e) 중앙관리실 제어시스템 설치



(f) 원격 자동제어시스템 화면

〈그림 3-7〉 기계실설비 및 자동제어시스템 설치

나. 에너지 효율증대 검증

(1) Test bed 운영

(가) 시험가동

지열수 순환시설 및 자동제어시스템의 정상적인 가동을 확인하기 위하여 8월 15일부터 31일까지 총 16일간 시운전을 실시하여 장비의 이상유무 및 정상작동 유무를 확인하였다.

(나) 본 가동

2017년 9월 1일부터 30일까지 냉방운전을 하였으며, 2017년 11월 1일부터 3월까지 난방운전을 가동하였으며, 부하조건에 따른 냉난방운전을 실시하였다. 또한 기존기술과 개발기술의 비교를 위해 2가지의 개발기술을 1개월씩 교번운전을 실시하였다. 운영결과는 다음과 같다.

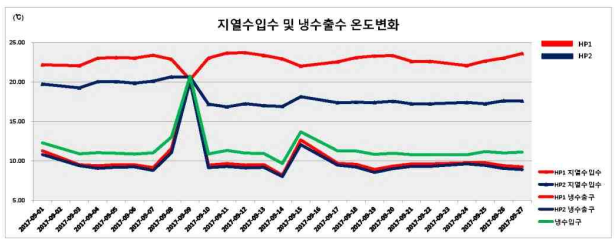
〈표 3-4〉 Test-bed 운영표

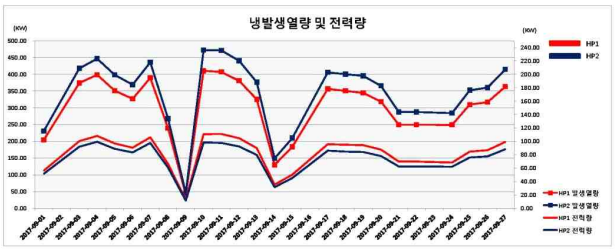
	기존기술(SCW형)	개발기술(2 well형)	개발기술(계절가변형)	비고
9월	○	○		냉방운전
10월				부하량 감소로 가동중단
11월	○		○	난방운전
12월	○	○		
1월	○		○	
2월	○		○	
3월	○	○		

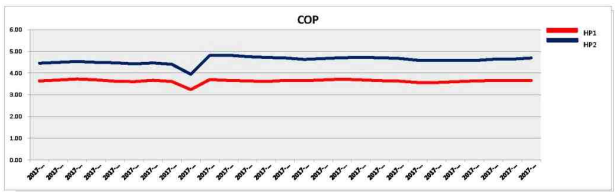
〈표 3-5〉 월간 운영결과 및 운전 현황

(2017년 09월) DATA SHEET (#1 & #2 지중열교환기)

년.월.일	구분	HP1 지열입수 ℃	HP1 냉온수출구 ℃	HP1 냉온수입구 ℃	HP1 발생열량 kW	HP1 전력량 kW	HP1 COP	HP2 지열입수 ℃	HP2 냉온수출구 ℃	HP2 냉온수입구 ℃	HP2 발생열량 kW	HP2 전력량 kW	HP2 COP
2017-09-01	TOTAL				204.74	56.32	3.64				250.91	51.87	4.45
	AVERAGE	22.20	11.28	12.29				19.75	10.82	11.79			
2017-09-02	TOTAL												
	AVERAGE												
2017-09-03	TOTAL				374.14	100.36	3.73				417.78	92.17	4.53
	AVERAGE	22.06	9.54	10.92				19.26	9.40	10.94			
2017-09-04	TOTAL				398.59	108.10	3.69				447.05	99.48	4.49
	AVERAGE	23.02	9.38	11.05				20.04	9.06	10.78			
2017-09-05	TOTAL				351.18	96.85	3.63				398.23	88.98	4.48
	AVERAGE	23.12	9.55	10.99				20.06	9.22	10.78			
2017-09-06	TOTAL				327.15	90.72	3.61				369.25	83.52	4.42
	AVERAGE	23.04	9.52	10.87				19.87	9.25	10.66			
2017-09-07	TOTAL				389.41	106.09	3.67				436.12	97.67	4.47
	AVERAGE	23.40	9.15	11.04				20.12	8.81	10.74			
2017-09-08	TOTAL				239.11	66.24	3.61				267.81	60.81	4.40
	AVERAGE	22.88	11.58	13.05				20.66	11.06	12.26			
2017-09-09	TOTAL				41.06	12.68	3.24				46.34	11.74	3.95
	AVERAGE	20.29	20.49	20.75				20.62	20.08	19.66			
2017-09-10	TOTAL				410.70	110.96	3.70				472.27	98.25	4.81
	AVERAGE	23.04	9.47	10.90				17.21	9.16	10.66			
2017-09-11	TOTAL				406.96	111.10	3.66				471.57	97.74	4.82
	AVERAGE	23.69	9.67	11.34				16.85	9.31	11.04			
2017-09-12	TOTAL				381.02	104.83	3.63				440.42	92.52	4.76
	AVERAGE	23.72	9.49	10.99				17.25	9.12	10.69			
2017-09-13	TOTAL				325.15	90.03	3.61				376.79	79.85	4.72
	AVERAGE	23.38	9.55	10.95				17.01	9.19	10.61			
2017-09-14	TOTAL				129.79	35.44	3.66				149.34	31.81	4.69
	AVERAGE	22.94	8.20	9.69				16.90	8.01	9.70			
2017-09-15	TOTAL				183.80	50.42	3.65				209.85	45.33	4.63
	AVERAGE	22.02	12.68	13.69				18.15	12.06	12.81			
2017-09-16	TOTAL												
	AVERAGE												
2017-09-17	TOTAL				356.53	95.85	3.72				406.09	86.23	4.71
	AVERAGE	22.57	9.71	11.28				17.39	9.48	11.24			
2017-09-18	TOTAL				350.71	95.05	3.69				400.30	84.82	4.72
	AVERAGE	23.09	9.58	11.26				17.44	9.23	10.91			
2017-09-19	TOTAL				344.60	94.43	3.65				395.55	84.08	4.70
	AVERAGE	23.32	8.93	10.85				17.41	8.56	10.46			
2017-09-20	TOTAL				318.46	87.71	3.63				365.50	78.18	4.68
	AVERAGE	23.35	9.36	10.99				17.58	9.04	10.68			
2017-09-21	TOTAL				249.67	70.06	3.56				287.79	62.67	4.59
	AVERAGE	22.64	9.64	10.80				17.24	9.32	10.48			
2017-09-22	TOTAL				249.67	70.06	3.56				287.79	62.67	4.59
	AVERAGE	22.64	9.64	10.80				17.24	9.32	10.48			
2017-09-23	TOTAL												
	AVERAGE												
2017-09-24	TOTAL				249.47	68.58	3.64				284.58	62.18	4.58
	AVERAGE	22.09	9.78	10.78				17.42	9.63	10.80			
2017-09-25	TOTAL				309.83	84.75	3.66				352.65	76.09	4.63
	AVERAGE	22.66	9.78	11.19				17.24	9.44	10.89			
2017-09-26	TOTAL				316.82	86.87	3.65				360.29	77.64	4.64
	AVERAGE	23.04	9.41	11.02				17.64	9.05	10.69			
2017-09-27	TOTAL				363.28	99.28	3.66				414.48	88.35	4.69
	AVERAGE	23.61	9.26	11.13				17.61	8.90	10.83			
월 누계	TOTAL				7,271.83	1,992.79	3.65				8,288.70	1,794.65	4.62
	AVERAGE	22.83	10.19	11.61				18.25	9.85	11.27			



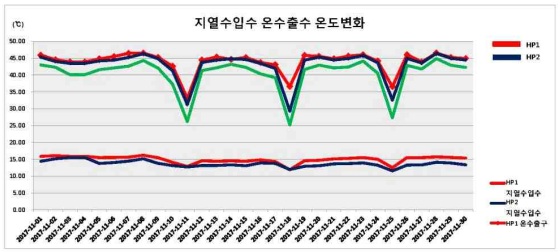


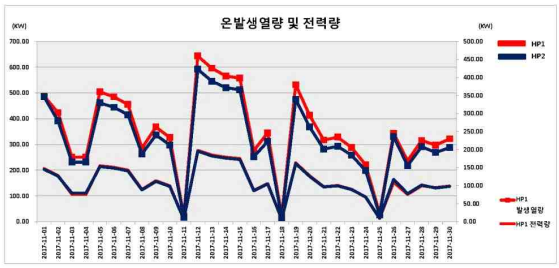


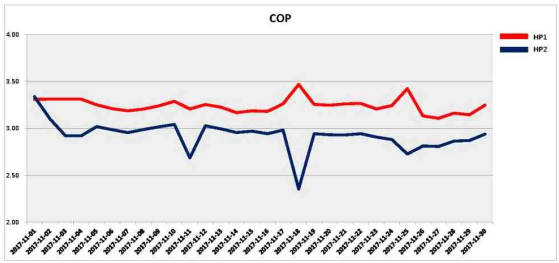
(a) 2017년 9월 운영결과

(2017년 11월) DATA SHEET (#1 & #3 지중열교환기)

년.월.일	구분	HP1 지열입수 ℃	HP1 냉온수출구 ℃	HP1 냉온수입구 ℃	HP1 발생열량 KW	HP1 전력량 KW	HP1 COP	HP2 지열입수 ℃	HP2 냉온수출구 ℃	HP2 냉온수입구 ℃	HP2 발생열량 KW	HP2 전력량 KW	HP2 COP
2017-11-01	TOTAL				487.42	147.26	3.31				484.94	145.32	3.34
	AVERAGE	15.90	45.90	42.98				14.40	45.32	42.98			
2017-11-02	TOTAL				423.39	127.87	3.31				390.94	126.18	3.10
	AVERAGE	16.09	44.53	42.31				15.16	44.04	42.31			
2017-11-03	TOTAL				250.57	75.69	3.31				230.98	79.11	2.92
	AVERAGE	15.88	43.89	40.11				15.53	43.48	40.11			
2017-11-04	TOTAL				250.57	75.69	3.31				230.98	79.11	2.92
	AVERAGE	15.88	43.89	40.11				15.53	43.48	40.11			
2017-11-05	TOTAL				504.19	155.11	3.25				461.24	152.81	3.02
	AVERAGE	15.52	44.78	41.58				13.76	44.18	41.58			
2017-11-06	TOTAL				484.52	150.98	3.21				444.08	148.76	2.99
	AVERAGE	15.56	45.50	42.09				14.05	44.45	42.09			
2017-11-07	TOTAL				455.28	142.86	3.19				415.75	140.74	2.95
	AVERAGE	15.64	46.45	42.62				14.45	45.24	42.62			
2017-11-08	TOTAL				285.84	89.18	3.21				262.73	87.97	2.99
	AVERAGE	16.22	46.54	44.31				15.19	46.31	44.31			
2017-11-09	TOTAL				367.44	113.43	3.24				336.77	111.69	3.02
	AVERAGE	15.50	45.22	42.09				13.81	44.87	42.09			
2017-11-10	TOTAL				326.67	99.37	3.29				297.96	97.98	3.04
	AVERAGE	14.09	42.65	37.28				13.13	41.28	37.28			
2017-11-11	TOTAL				20.91	6.52	3.21				17.29	6.44	2.69
	AVERAGE	12.91	33.07	26.24				12.74	31.28	26.24			
2017-11-12	TOTAL				643.06	197.66	3.25				591.77	195.51	3.03
	AVERAGE	14.58	44.42	41.36				13.17	43.75	41.36			
2017-11-13	TOTAL				595.78	184.71	3.23				545.40	182.13	2.99
	AVERAGE	14.41	45.36	42.15				13.17	44.41	42.15			
2017-11-14	TOTAL				565.94	178.67	3.17				520.68	176.20	2.96
	AVERAGE	14.55	44.65	43.19				13.40	44.82	43.19			
2017-11-15	TOTAL				557.40	174.93	3.19				512.04	172.38	2.97
	AVERAGE	14.41	45.22	42.26				13.11	44.63	42.26			
2017-11-16	TOTAL				276.65	86.97	3.18				252.67	85.87	2.94
	AVERAGE	14.86	43.72	40.36				13.92	43.44	40.36			
2017-11-17	TOTAL				344.90	105.80	3.26				311.41	104.45	2.98
	AVERAGE	14.35	43.04	39.22				13.78	41.94	39.22			
2017-11-18	TOTAL				23.12	6.67	3.47				15.66	6.65	2.35
	AVERAGE	11.91	36.62	25.25				11.98	29.35	25.25			
2017-11-19	TOTAL				531.45	163.25	3.26				473.94	161.04	2.94
	AVERAGE	14.57	45.83	41.64				12.96	44.42	41.64			
2017-11-20	TOTAL				412.65	127.12	3.25				367.65	125.40	2.93
	AVERAGE	14.72	45.55	42.96				13.12	45.29	42.96			
2017-11-21	TOTAL				316.91	97.21	3.26				281.66	96.16	2.93
	AVERAGE	15.14	44.83	42.12				13.66	44.46	42.12			
2017-11-22	TOTAL				328.47	100.61	3.26				292.59	99.42	2.94
	AVERAGE	15.31	45.62	42.38				13.74	44.91	42.38			
2017-11-23	TOTAL				287.58	89.69	3.21				257.81	88.68	2.91
	AVERAGE	15.54	46.02	44.15				13.95	45.78	44.15			
2017-11-24	TOTAL				220.80	68.11	3.24				198.09	68.76	2.88
	AVERAGE	15.01	44.12	40.56				13.25	43.68	40.56			
2017-11-25	TOTAL				32.50	9.50	3.42				25.92	9.51	2.73
	AVERAGE	12.53	36.56	27.36				11.59	32.61	27.36			
2017-11-26	TOTAL				343.19	109.56	3.13				330.14	117.41	2.81
	AVERAGE	15.55	46.02	42.88				13.81	44.91	42.88			
2017-11-27	TOTAL				236.05	75.95	3.11				217.58	77.51	2.81
	AVERAGE	15.52	43.88	41.78				13.34	43.59	41.78			
2017-11-28	TOTAL				315.24	99.70	3.16				290.92	101.58	2.86
	AVERAGE	15.73	46.52	44.85				14.14	46.41	44.85			
2017-11-29	TOTAL				297.36	94.58	3.14				268.44	93.51	2.87
	AVERAGE	15.56	45.24	42.93				13.91	44.95	42.93			
2017-11-30	TOTAL				321.57	99.02	3.25				287.72	97.89	2.94
	AVERAGE	15.36	44.90	42.26				13.39	44.48	42.26			
월 누계	TOTAL				10,507.42	3,253.66	3.23				9,615.75	3,236.17	2.97
	AVERAGE	14.96	44.02	40.38				13.69	43.06	40.38			



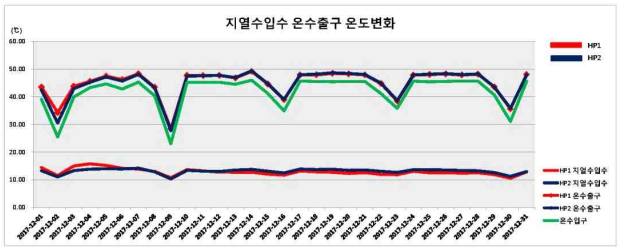


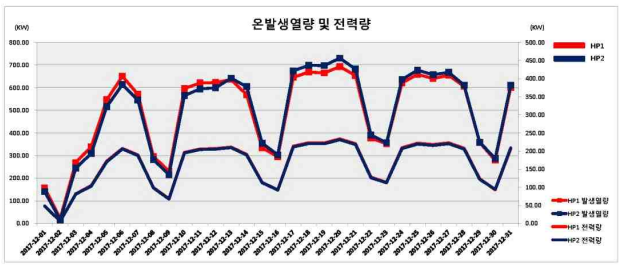


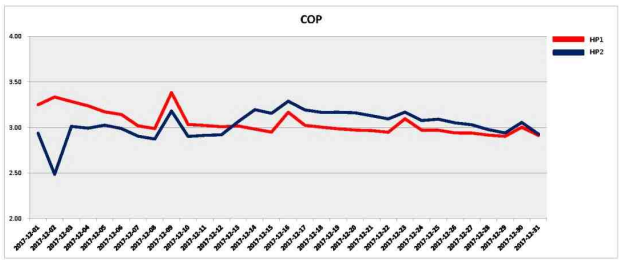
(b) 2017년 11월 운영결과

(2017년 12월) DATA SHEET (#1 & #4 지중열교환기)

년.월.일	구분	HP1 지열입수 ℃	HP1 냉온수출구 ℃	HP1 냉온수입구 ℃	HP1 발생열량 KW	HP1 전력량 KW	HP1 COP	HP2 지열입수 ℃	HP2 냉온수출구 ℃	HP2 냉온수입구 ℃	HP2 발생열량 KW	HP2 전력량 KW	HP2 COP
2017-12-01	TOTAL				156.62	48.21	3.25				140.76	47.92	2.94
	AVERAGE	14.43	43.49	39.11				13.28	42.39	39.11			
2017-12-02	TOTAL				21.78	6.53	3.33				16.13	6.49	2.49
	AVERAGE	11.55	34.32	25.53				11.06	30.61	25.53			
2017-12-03	TOTAL				269.10	81.92	3.28				244.54	81.19	3.01
	AVERAGE	15.02	43.82	39.95				13.35	42.98	39.95			
2017-12-04	TOTAL				338.75	104.66	3.24				309.32	103.38	2.99
	AVERAGE	15.79	45.56	43.32				13.90	45.22	43.32			
2017-12-05	TOTAL				547.16	172.55	3.17				516.53	170.75	3.03
	AVERAGE	15.22	47.46	44.65				13.98	47.20	44.65			
2017-12-06	TOTAL				651.18	207.33	3.14				614.50	205.70	2.99
	AVERAGE	14.20	46.21	42.79				13.92	45.72	42.79			
2017-12-07	TOTAL				571.00	189.25	3.02				545.59	187.90	2.90
	AVERAGE	13.88	48.31	45.33				14.25	48.11	45.33			
2017-12-08	TOTAL				296.22	99.15	2.99				282.63	98.40	2.87
	AVERAGE	13.05	43.45	40.34				12.92	43.28	40.34			
2017-12-09	TOTAL				230.97	68.31	3.38				215.08	67.65	3.18
	AVERAGE	10.75	28.38	23.08				10.32	27.81	23.08			
2017-12-10	TOTAL				596.12	196.61	3.03				565.83	195.06	2.90
	AVERAGE	13.69	47.68	45.26				13.44	47.48	45.26			
2017-12-11	TOTAL				621.67	205.70	3.02				594.94	204.21	2.91
	AVERAGE	13.23	47.67	45.21				13.16	47.59	45.21			
2017-12-12	TOTAL				622.84	207.10	3.01				599.89	205.51	2.92
	AVERAGE	12.82	47.73	45.28				13.03	47.76	45.28			
2017-12-13	TOTAL				636.61	211.10	3.02				642.38	209.62	3.06
	AVERAGE	12.74	46.82	44.51				13.55	46.93	44.51			
2017-12-14	TOTAL				569.43	190.98	2.98				604.79	189.30	3.19
	AVERAGE	12.74	49.20	46.00				13.78	49.39	46.00			
2017-12-15	TOTAL				335.04	113.64	2.95				355.25	112.59	3.16
	AVERAGE	12.07	44.56	41.21				13.16	44.75	41.21			
2017-12-16	TOTAL				295.27	93.22	3.17				303.30	92.27	3.29
	AVERAGE	11.73	38.98	34.89				12.53	39.02	34.89			
2017-12-17	TOTAL				646.38	213.80	3.02				674.95	211.47	3.19
	AVERAGE	13.20	47.89	45.69				13.94	48.02	45.69			
2017-12-18	TOTAL				669.45	223.01	3.00				698.98	220.83	3.17
	AVERAGE	12.92	47.94	45.50				13.73	48.16	45.50			
2017-12-19	TOTAL				665.47	222.95	2.98				668.32	220.54	3.17
	AVERAGE	12.76	48.48	45.46				13.82	48.72	45.46			
2017-12-20	TOTAL				691.87	234.59	2.97				730.91	231.26	3.16
	AVERAGE	12.32	48.25	45.51				13.46	48.48	45.51			
2017-12-21	TOTAL				654.19	220.60	2.97				683.03	218.32	3.13
	AVERAGE	12.58	47.93	45.57				13.56	48.08	45.57			
2017-12-22	TOTAL				376.61	127.81	2.95				391.04	126.38	3.09
	AVERAGE	11.99	44.79	41.15				13.08	44.91	41.15			
2017-12-23	TOTAL				352.75	113.97	3.10				357.23	112.75	3.17
	AVERAGE	11.86	38.42	35.82				12.72	38.61	35.82			
2017-12-24	TOTAL				621.75	209.33	2.97				636.83	207.07	3.08
	AVERAGE	13.09	47.80	45.64				13.66	47.96	45.64			
2017-12-25	TOTAL				659.24	222.04	2.97				678.01	219.40	3.09
	AVERAGE	12.57	48.04	45.40				13.62	48.18	45.40			
2017-12-26	TOTAL				641.06	218.11	2.94				657.71	215.67	3.05
	AVERAGE	12.59	48.25	45.57				13.61	48.42	45.57			
2017-12-27	TOTAL				654.92	222.91	2.94				668.30	220.66	3.03
	AVERAGE	12.41	47.88	45.69				13.40	48.00	45.69			
2017-12-28	TOTAL				605.99	207.81	2.92				611.54	205.51	2.98
	AVERAGE	12.55	48.18	45.68				13.31	48.24	45.68			
2017-12-29	TOTAL				358.51	123.49	2.90				358.87	122.10	2.94
	AVERAGE	11.91	43.53	40.70				12.67	43.58	40.70			
2017-12-30	TOTAL				279.46	93.06	3.00				287.69	94.2	3.05
	AVERAGE	10.61	35.66	31.12				11.29	35.82	31.12			
2017-12-31	TOTAL				601.41	206.55	2.91				611.49	209	2.93
	AVERAGE	12.88	48.07	45.68				13.01	47.90	45.68			
월 누계	TOTAL				15,084.22	5,007.09	3.01				15,155.59	4,965.18	3.05
	AVERAGE	12.88	44.99	41.83				13.18	44.82	41.83			





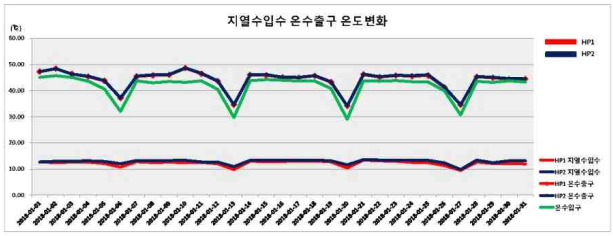


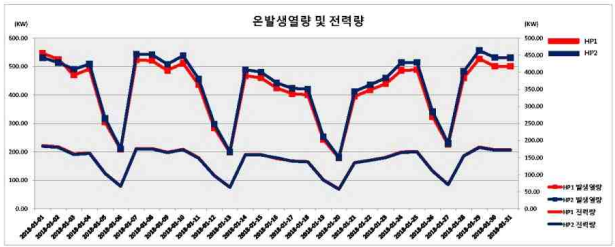
(c) 2017년 12월 운영결과

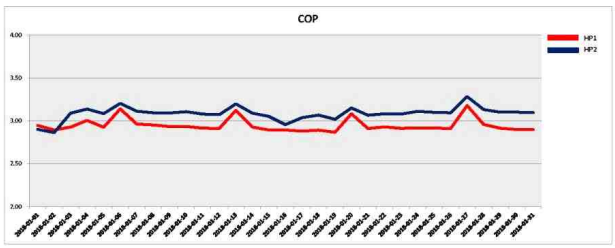
(2018년 01월) DATA SHEET (#1 & #3 지중열교환기)

년월일	구분	HP1 지열입수 ℃	HP1 냉온수입구 ℃	HP1 냉온수출구 ℃	HP1 발생열량 KW	HP1 전력량 KW	HP1 COP	HP2 지열입수 ℃	HP2 냉온수입구 ℃	HP2 냉온수출구 ℃	HP2 발생열량 KW	HP2 전력량 KW	HP2 COP
2018-01-01	TOTAL				546.69	185.64	2.94				533.31	183.21	2.93
	AVERAGE	12.68	47.29	45.07				12.73	47.28	45.07			
2018-01-02	TOTAL				525.56	181.62	2.89				514.37	179.63	2.86
	AVERAGE	12.46	46.43	45.70				12.94	48.39	45.70			
2018-01-03	TOTAL				470.22	160.61	2.93				480.83	158.87	3.09
	AVERAGE	12.62	46.34	45.03				13.04	46.35	45.03			
2018-01-04	TOTAL				492.44	163.89	3.00				509.34	162.38	3.14
	AVERAGE	12.64	45.36	43.59				13.15	45.54	43.59			
2018-01-05	TOTAL				384.71	134.15	2.93				317.86	103.08	3.08
	AVERAGE	12.09	43.76	43.64				12.92	43.85	43.64			
2018-01-06	TOTAL				208.86	66.55	3.14				210.74	66.80	3.20
	AVERAGE	10.72	37.19	32.08				12.04	37.10	32.08			
2018-01-07	TOTAL				523.29	176.57	2.96				543.97	174.78	3.11
	AVERAGE	12.76	45.38	43.74				13.27	45.62	43.74			
2018-01-08	TOTAL				521.51	176.73	2.95				542.20	175.31	3.09
	AVERAGE	12.46	45.82	42.96				13.22	46.06	42.96			
2018-01-09	TOTAL				486.62	166.96	2.93				508.63	164.55	3.09
	AVERAGE	12.59	46.01	43.48				13.27	46.24	43.48			
2018-01-10	TOTAL				512.70	174.73	2.93				528.14	173.29	3.11
	AVERAGE	12.49	48.58	**43.14**				13.32	48.71	43.14			
2018-01-11	TOTAL				436.26	149.71	2.91				457.30	148.57	3.08
	AVERAGE	12.56	46.44	**43.70**				12.74	46.65	43.70			
2018-01-12	TOTAL				284.60	97.70	2.91				297.80	96.94	3.07
	AVERAGE	12.01	43.64	40.50				12.69	43.76	40.50			
2018-01-13	TOTAL				198.01	63.44	3.12				200.97	62.87	3.20
	AVERAGE	9.61	34.59	29.72				10.91	34.62	29.72			
2018-01-14	TOTAL				468.00	159.85	2.93				489.22	158.15	3.09
	AVERAGE	12.97	46.00	43.81				13.36	46.19	43.81			
2018-01-15	TOTAL				460.48	159.14	2.89				480.86	157.58	3.05
	AVERAGE	12.83	45.87	44.26				13.35	46.12	44.26			
2018-01-16	TOTAL				425.06	146.94	2.89				442.86	149.89	2.96
	AVERAGE	12.92	45.06	44.01				13.38	45.19	44.01			
2018-01-17	TOTAL				404.83	140.54	2.88				423.80	139.53	3.04
	AVERAGE	12.98	44.95	43.67				13.45	45.10	43.67			
2018-01-18	TOTAL				400.86	138.61	2.89				420.94	137.27	3.07
	AVERAGE	13.06	45.65	43.68				13.46	45.79	43.68			
2018-01-19	TOTAL				243.71	85.02	2.87				254.06	84.17	3.02
	AVERAGE	12.70	43.23	40.81				13.16	43.34	40.81			
2018-01-20	TOTAL				178.57	57.96	3.08				180.84	57.41	3.15
	AVERAGE	10.42	34.14	29.05				11.58	34.08	29.05			
2018-01-21	TOTAL				394.66	135.60	2.91				412.13	134.43	3.07
	AVERAGE	13.40	46.16	43.81				13.59	46.33	43.81			
2018-01-22	TOTAL				418.23	142.79	2.93				436.10	141.54	3.08
	AVERAGE	13.14	45.19	43.64				13.49	45.35	43.64			
2018-01-23	TOTAL				439.54	150.98	2.91				460.34	149.60	3.08
	AVERAGE	12.94	45.75	43.86				13.46	45.92	43.86			
2018-01-24	TOTAL				486.64	166.78	2.92				514.02	165.24	3.11
	AVERAGE	12.55	45.51	43.43				13.36	45.80	43.43			
2018-01-25	TOTAL				489.00	167.75	2.92				515.51	166.31	3.10
	AVERAGE	12.39	45.76	43.29				13.34	46.11	43.29			
2018-01-26	TOTAL				323.80	111.25	2.91				341.50	110.43	3.09
	AVERAGE	11.39	41.28	39.96				12.34	41.44	39.96			
2018-01-27	TOTAL				225.42	70.92	3.18				230.59	70.28	3.28
	AVERAGE	9.51	34.57	30.68				9.84	34.49	30.68			
2018-01-28	TOTAL				480.59	165.76	2.90				483.22	164.35	3.13
	AVERAGE	12.64	45.26	43.58				13.37	45.40	43.58			
2018-01-29	TOTAL				527.35	180.96	2.91				556.67	179.55	3.10
	AVERAGE	12.12	44.91	43.15				12.39	45.19	43.15			
2018-01-30	TOTAL				501.55	173.00	2.90				532.32	171.63	3.10
	AVERAGE	12.09	44.36	42.74				12.38	44.62	43.74			
2018-01-31	TOTAL				501.38	173.06	2.90				531.61	171.73	3.10
	AVERAGE	12.00	44.45	43.27				13.17	44.56	43.27			
월 누계	TOTAL				12863.17	4384.23	2.93				13370.18	4348.58	3.08
	AVERAGE	12.26	44.09	41.65				12.88	44.23	41.65			

※1월 3일 지표 중 발생열량값이 측정오류로 인해 전력량(158.87kW)와 배송한 1월 14일의 자료를 토대로 수정재원하였으며, 이데이은 COP또 수정함





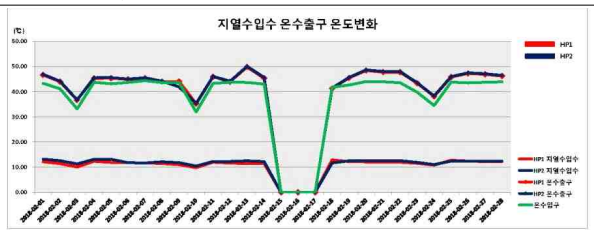


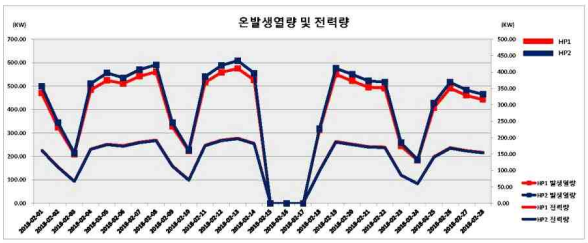
(d) 2018년 1월 운영결과

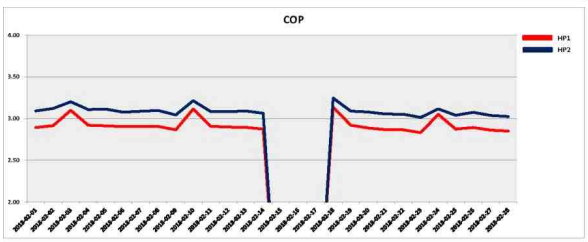
(2018년 02월) DATA SHEET (#1 & #5 지중열교환기)

년월일	구분	HP1 지열입수 ℃	HP1 냉온수입구 ℃	HP1 냉온수출구 ℃	HP1 발생열량 KW	HP1 전력량 KW	HP1 COP	HP2 지열입수 ℃	HP2 냉온수입구 ℃	HP2 냉온수출구 ℃	HP2 발생열량 KW	HP2 전력량 KW	HP2 COP
2018-02-01	TOTAL				469.82	162.51	2.89				498.57	161.31	3.09
	AVERAGE	12.16	46.68	43.35				13.23	46.93	43.35			
2018-02-02	TOTAL				324.55	111.38	2.91				344.77	110.50	3.12
	AVERAGE	11.45	43.98	41.16				12.59	44.22	41.16			
2018-02-03	TOTAL				208.96	67.48	3.10				214.05	66.91	3.20
	AVERAGE	10.08	36.74	33.14				11.31	36.76	33.14			
2018-02-04	TOTAL				483.71	165.68	2.92				510.54	164.37	3.11
	AVERAGE	12.34	45.33	43.76				13.17	45.56	43.76			
2018-02-05	TOTAL				524.36	180.04	2.91				555.93	178.59	3.11
	AVERAGE	11.94	45.39	43.17				13.12	45.59	43.17			
2018-02-06	TOTAL				510.93	176.06	2.90				535.49	174.09	3.08
	AVERAGE	11.79	44.84	43.69				11.77	45.03	43.69			
2018-02-07	TOTAL				542.39	186.91	2.90				570.71	184.91	3.09
	AVERAGE	11.66	45.30	44.40				11.64	45.54	44.40			
2018-02-08	TOTAL				560.64	192.97	2.91				591.03	190.93	3.10
	AVERAGE	11.49	44.06	43.65				12.14	44.22	43.65			
2018-02-09	TOTAL				327.34	114.31	2.86				344.25	113.16	3.04
	AVERAGE	11.01	44.06	43.65				11.81	41.91	40.44			
2018-02-10	TOTAL				222.42	71.46	3.11				226.79	70.61	3.21
	AVERAGE	9.83	35.22	31.92				10.47	35.32	31.92			
2018-02-11	TOTAL				515.80	177.43	2.91				540.93	175.52	3.08
	AVERAGE	12.00	45.95	43.32				12.30	46.12	43.32			
2018-02-12	TOTAL				558.89	192.96	2.90				588.44	191.05	3.08
	AVERAGE	11.62	44.01	43.79				12.29	44.20	43.79			
2018-02-13	TOTAL				575.09	198.74	2.89				608.32	196.81	3.09
	AVERAGE	11.48	49.86	43.68				12.52	50.08	43.68			
2018-02-14	TOTAL				526.00	183.15	2.87				555.38	181.32	3.06
	AVERAGE	11.45	45.36	43.03				12.24	45.69	43.03			
2018-02-15	TOTAL												
	AVERAGE												
2018-02-16	TOTAL												
	AVERAGE												
2018-02-17	TOTAL												
	AVERAGE												
2018-02-18	TOTAL				312.39	99.66	3.13				319.32	98.40	3.25
	AVERAGE	12.90	41.27	41.77				11.69	41.50	41.77			
2018-02-19	TOTAL				550.30	188.48	2.92				575.77	186.40	3.09
	AVERAGE	12.26	45.46	42.65				12.56	45.69	42.65			
2018-02-20	TOTAL				521.68	180.83	2.88				550.08	178.80	3.08
	AVERAGE	12.09	48.46	44.07				12.51	48.69	44.07			
2018-02-21	TOTAL				495.35	172.90	2.86				521.96	171.01	3.05
	AVERAGE	12.09	47.79	43.94				12.57	48.09	43.94			
2018-02-22	TOTAL				491.25	171.53	2.86				517.80	169.69	3.05
	AVERAGE	11.99	47.79	43.56				12.57	48.02	43.56			
2018-02-23	TOTAL				244.38	86.28	2.83				258.28	85.74	3.01
	AVERAGE	11.54	43.37	39.80				11.91	43.58	39.80			
2018-02-24	TOTAL				182.53	59.88	3.05				185.94	59.71	3.11
	AVERAGE	10.83	38.19	34.54				11.04	38.25	34.54			
2018-02-25	TOTAL				408.19	142.05	2.87				427.04	140.55	3.04
	AVERAGE	12.78	45.86	43.83				12.41	46.04	43.83			
2018-02-26	TOTAL				491.07	169.88	2.89				516.21	167.91	3.07
	AVERAGE	12.39	47.30	43.49				12.42	47.51	43.49			
2018-02-27	TOTAL				459.99	160.86	2.86				483.08	159.14	3.04
	AVERAGE	12.26	46.91	43.76				12.45	47.14	43.76			
2018-02-28	TOTAL				442.71	155.45	2.85				465.04	153.84	3.02
	AVERAGE	12.29	46.25	43.93				12.34	46.44	43.93			
월 누계	TOTAL				10350.57	3768.86	2.92				11505.79	3731.30	3.09
	AVERAGE	11.75	44.62	42.04				12.20	44.72	41.91			

※2월 15일부터 2월 18일은 설 연휴로 인해 가동하지 않음







(e) 2018년 2월 운영결과 (설 연휴로 인해 15~17일 가동중단)

(다) 블리딩 가동여부 확인

지열시스템 에너지효율의 유지를 위해 열교환후 출수되는 지하수온도(LWT)이 일정기준을 초과했을 때 자동제어시스템에 의한 블리딩을 설정하였다. 블리딩온도는 동절기 6℃이하, 하절기 35℃이상일 때 자동적으로 블리딩을 하도록 하였으나 수도미터 계측결과 초기 배관 플러싱시 발생한 출수량 이외의 블리딩은 발생하지 않았다.

(2) 효율검증

기존 SCW기술과 2WELL방식 그리고 계절가변형 방식의 효율비교검을을 위해 한국화학융합시험연구원(KTR)에서 동절기와 하절기에 가장 부하가 높은 시기인 1월과 8월에 효율검증을 실시하였으며, 시험 조건 및 결과는 다음과 같다.

(가) 시험조건

① 본 시험은 모델별 지열시스템의 효율측정 시험임

② 현장에 설치 된 시료의 온도, 유량을 통해 열량을 산출하고 전력을 측정하여 시스템별 성적계수(COP)를 산출한다.

③ 시험일자 동안 측정 된 데이터 중 시스템이 동작하지 않은 시간을 제외한 평균값을 산출한다.

④ 2well방식과 계절가변형 방식은 연구시설의 설비구조상 동시에 가동이 불가능함으로 각각 운전을 실시하며, 계절가변형인 경우 2개의 공(#4, #5)을 순서대로 가동하여 성적계수(COP)를 측정한다.

(나) 시험결과

① 하절기 시험기간 : 2018년 8월 6일 ~ 2018년 8월 26일

하절기 시험결과는 아래 표와 같다.

〈표 3-6〉 기존 SCW - 2well 운전

					냉온수대류펌프 용량 포함			냉온수대류펌프 용량 제외			
시험일자	지열측 온도차 (⊿℃)	부하측 온도차 (⊿℃)	유량 (LPM)	생산열량 (kW)	소비 전력 (kW)	COP	COP Avg	소비 전력 (kW)	COP	COP Avg	비고
2018-08-06	4.07	3.5	231.0	74.19	21.71	3.42		20.21	3.67		
2018-08-07	3.99	4.39	226.5	72.84	22.03	3.31		20.53	3.55		
2018-08-08	4.08	4.64	226.5	73.1	22.76	3.21		21.26	3.44		
2018-08-09	4.06	3.72	2244	71.98	21.57	3.34	3.27	20.07	3.59	3.51	기존SCW
2018-08-10	3.79	4.59	225.43	71.9	23.07	3.12		21.57	3.33		
2018-08-11	4.1	0.2	222.0	73.07	22.03	3.32		20.53	3.56		
2018-08-12	3.88	4.70	226.8	72.3	22.51	3.21		21.01	3.44		
2018-08-06	4.73	3.68	231.0	78.66	19.96	3.94		18.46	4.26		
2018-08-07	4.43	4.56	230.25	78.32	19.70	3.98		18.2	4.30		
2018-08-08	4.45	4.93	230.25	79.41	20.20	3.93		18.7	4.25		
2018-08-09	4.7	3.94	229.2	78.02	19.15	4.08	3.94	17.65	4.42	4.26	2well
2018-08-10	4.44	4.9	230.57	78.64	20.19	3.9		18.69	4.21		
2018-08-11	5.4	0.2	234.0	77.9	20.08	3.88		18.58	4.19		
2018-08-12	4.32	4.94	231.6	77.53	20.13	3.85		18.63	4.16		

〈표 3-7〉 기존 SCW - 계절가변형(#4)

시험일자	지열측 온도차 (⊿℃)	부하측 온도차 (⊿℃)	유량 (LPM)	생산열량 (kW)	냉온수대류펌프 용량 포함			냉온수대류펌프 용량 제외			비고
					소비 전력 (kW)	COP	COP Avg	소비 전력 (kW)	COP	COP Avg	
2018-08-13	4.08	4.6	225.0	73.46	22.71	3.24		21.21	3.46		
2018-08-14	3.96	4.63	226.29	72.68	22.91	3.17		21.41	3.39		
2018-08-15	4.1	4.15	224.25	72.67	21.94	3.31		20.44	3.56		
2018-08-16	4.17	4.6	225.0	73.09	22.49	3.25	3.42	20.99	3.48	3.69	기존SCW
2018-08-17	3.85	4.6	225.0	70.35	22.83	3.08		21.33	3.30		
2018-08-18	3.7	0	228.0	68.08	15.53	4.39		14.03	4.85		
2018-08-19	3.98	3.52	225.0	70.61	20.3	3.48		18.8	3.76		
2018-08-13	4.45	4.88	231.0	79.56	20.16	3.95		18.66	4.26		
2018-08-14	4.27	4.89	233.14	78.21	20.48	3.82		18.98	4.12		
2018-08-15	4.45	4.36	231.0	78.1	19.69	3.97		18.19	4.29		계절
2018-08-16	4.4	4.85	299.5	78.23	20.32	3.85	4.04	18.82	4.16	4.40	가변형
2018-08-17	4.28	4.88	231.0	75.33	20.36	3.75		18.86	4.05		(#4)
2018-08-18	3.6	0	234.0	70.78	14.19	4.89		12.99	5.45		
2018-08-19	4.55	3.70	229.5	75.32	18.45	4.08		16.95	4.44		

〈표 3-8〉 기존 SCW - 계절가변형(#5)

시험일자	지열측 온도차 (⊿℃)	부하측 온도차 (⊿℃)	유량 (LPM)	생산열량 (kW)	냉온수대류펌프 용량 포함			냉온수대류펌프 용량 제외			비고
					소비 전력 (kW)	COP	COP Avg	소비 전력 (kW)	COP	COP Avg	
2018-08-20	3.95	4.17	224.0	72.74	22.55	3.23		21.05	3.46		
2018-08-21	4.0	4.5	228.0	73.25	22.37	3.28		20.87	3.51		
2018-08-22	4.0	4.67	224.0	73.67	22.6	3.26		21.1	3.49		
2018-08-23	3.8	4.57	225.38	70.69	22.89	3.09	3.21	21.39	3.30	3.44	기존SCW
2018-08-24	3.91	3.98	226.67	71.15	22.12	3.22		20.62	3.45		
2018-08-25	4.0	4.4	222.0	71.85	22.36	3.21		20.86	3.44		
2018-08-26	3.75	4.6	225.0	71.9	22.52	3.19		21.02	3.42		
2018-08-20	4.45	4.33	230.0	78.02	20.28	3.85		18.78	4.15		
2018-08-21	4.4	4.7	228.0	77.83	20.42	3.81		18.92	4.11		
2018-08-22	4.4	4.83	228.0	77.75	20.8	3.74		19.3	4.03		계절
2018-08-23	4.31	4.72	229.88	75.14	21.19	3.55	3.69	19.69	3.82	3.97	가변형
2018-08-24	4.33	4.09	231.33	74.97	20.53	3.65		19.03	3.94		(#5)
2018-08-25	4.3	4.5	228.0	75.2	20.83	3.61		19.33	3.89		
2018-08-26	4.32	4.7	231.0	75.44	20.98	3.6		19.48	3.87		

② 하절기 측정결과

- 기존 SCW 평균 COP : 3.3(냉온수대류펌프용량 포함시) / 3.54(냉온수대류펌프용량 제외시)
- 2well 평균 COP : 3.94(냉온수대류펌프용량 포함시) / 4.26(냉온수대류펌프용량 제외시)
- 계절가변형 평균 COP : 3.86(냉온수대류펌프용량 포함시) / 4.19(냉온수대류펌프용량 제외시)
- 기존 SCW 대비 **평균 118.7%** 효율향상

③ 동절기 시험기간 : 2019년 01월 19일 ~ 2019년 02월 11일

〈표 3-9〉 기존 SCW - 계절가변형(#5)

					냉온수대류펌프 용량 포함			냉온수대류펌프 용량 제외			
시험일자	지열측 온도차 (⊿℃)	부하측 온도차 (⊿℃)	유량 (LPM)	생산열량 (kW)	소비 전력 (kW)	COP	COP Avg	소비 전력 (kW)	COP	COP Avg	비고
2019-01-19	3.07	5.84	235.71	93.24	32.09	2.91		30.59	3.05		
2019-01-20	3.03	5.87	237.0	92.81	32.08	2.89		30.58	3.03		
2019-01-21	3.2	5.85	233.25	93.57	32.18	2.91		30.68	3.05		
2019-01-22	307	5.8	233.0	93.09	31.99	2.91	2.91	30.49	3.05	3.05	기존SCW
2019-01-23	3.18	5.88	233.0	91.45	31.8	2.88		30.3	3.02		
2019-01-24	3.24	4.97	234.0	93.4	32.21	2.9		30.71	3.04		
2019-01-25	3.3	5.87	230.0	95.6	32.29	2.96		30.79	3.10		
2019-01-19	3.46	6.01	239.14	98.55	31.77	3.1		30.27	3.26		
2019-01-20	3.42	5.93	237.0	98.13	31.74	3.09		30.24	3.25		
2019-01-21	3.51	6.04	236.25	98.28	31.76	3.09		30.26	3.25		계절
2019-01-22	3.5	5.97	236.0	98.75	31.54	3.13	3.08	30.04	3.29	3.24	가변형
2019-01-23	3.42	5.95	236.0	95.8	31.64	3.03		30.14	3.18		(#5)
2019-01-24	3.47	4.97	237.0	97.1	31.8	3.05		30.3	3.20		
2019-01-25	3.43	5.93	240.0	98.08	31.84	3.08		30.34	3.23		

〈표 3-10〉 기존 SCW - 계절가변형(#4)

					냉온수대류펌프 용량 포함			냉온수대류펌프 용량 제외			
시험일자	지열측 온도차 (⊿℃)	부하측 온도차 (⊿℃)	유량 (LPM)	생산열량 (kW)	소비 전력 (kW)	COP	COP Avg	소비 전력 (kW)	COP	COP Avg	비고
2019-01-29	3.2	5.89	230.67	91.96	31.73	2.9		30.23	3.04		
2019-01-30	3.33	5.05	232.91	92.32	31.98	2.89		30.48	3.03		
2019-01-31	3.9	5.89	235.5	92.68	32.08	2.89		30.58	3.03		
2019-02-01	3.4	4.9	234.0	94.96	32.43	2.93	2.91	30.93	3.07	3.06	기존SCW
2019-02-02	3.35	4.35	234.0	95.67	32.44	2.95		30.94	3.09		
2019-02-03	3.35	5.87	233.0	95.73	32.49	2.9		30.99	3.09		
2019-02-04	3.18	5.88	232.8	93.11	32.15	2.96		30.65	3.04		
2019-01-29	3.11	5.74	236.67	92.54	31.30	2.94		29.8	3.11		
2019-01-30	3.2	4.85	236.18	92.57	31.51	2.97		30.01	3.08		
2019-01-31	3.24	4.76	237.0	93.63	31.51	2.97		30.01	3.12		계절
2019-02-01	3.27	4.78	238.0	94.49	31.82	2.97	2.97	30.32	3.12	3.12	가변형
2019-02-02	3.15	4.22	240.0	94.41	31.84	2.97		30.34	3.11		(#4)
2019-02-03	3.25	5.73	236.0	94.58	31.89	2.97		30.39	3.11		
2019-02-04	3.32	5.94	237.6	96.74	31.80	3.04		30.3	3.19		

〈표 3-11〉 기존 SCW - 2well 운전

					냉온수대류펌프 용량 포함			냉온수대류펌프 용량 제외			
시험일자	지열측 온도차 (⊿℃)	부하측 온도차 (⊿℃)	유량 (LPM)	생산열량 (kW)	소비 전력 (kW)	COP	COP Avg	소비 전력 (kW)	COP	COP Avg	비고
2019-02-05	3.21	5.89	234.0	92.93	32.13	2.89		30.63	3.03		
2019-02-06	3.25	5.3	234.0	93.22	32.24	2.89		30.74	3.03		
2019-02-07	3.34	5.09	232.29	95.21	32.5	2.93		31	3.07		
2019-02-08	3.3	5.6	234.86	95.83	32.53	2.95	2.92	31.03	3.09	3.06	기존SCW
2019-02-09	3.29	3.95	238.5	94.4	32.41	2.91		30.91	3.05		
2019-02-10	3.3	5.86	234.0	95.16	32.3	2.95		30.8	3.09		
2019-02-11	3.27	5.89	233.14	95.09	32.35	2.94		30.85	3.08		
2019-02-05	3.47	6.04	237.43	98.16	31.83	3.08		30.33	3.24		
2019-02-06	3.57	5.38	237.0	98.34	31.94	3.08		30.44	3.23		
2019-02-07	3.63	5.14	237.43	99.00	32.08	3.09		30.58	3.24		
2019-02-08	3.56	5.66	239.14	98.97	32.08	3.09	3.09	30.58	3.24	3.24	2well
2019-02-09	3.79	3.99	238.5	98.49	31.97	3.08		30.47	3.23		
2019-02-10	3.56	5.94	237.6	98.59	31.87	3.09		30.37	3.25		
2019-02-11	3.60	6.03	236.57	98.97	31.9	3.1		30.4	3.26		

④ 동절기 측정결과

- 기존 SCW 평균 COP : 2.91(냉온수대류펌프용량 포함시) / 3.05(냉온수대류펌프용량 제외시)
- 2well 평균 COP : 3.06(냉온수대류펌프용량 포함시) / 3.24(냉온수대류펌프용량 제외시)
- 계절가변형 평균 COP : 3.03(냉온수대류펌프용량 포함시) / 3.18(냉온수대류펌프용량 제외시)
- 기존 SCW 대비 **평균 104.7%** 효율향상

⑤ 측정결과 분석

- 계절가변형 가동시 시험의 공백이 없이 시험을 실시함으로 인해 계간축열된 지하수가 양수됨으로 인해 절환시 효율저하 나타남. (동절기, 하절기 공통)
- 장기 계간축열인 경우 효율향상 효과
- 연구기술의 효율은 한국에너지공단 지열에너지설비 시공기준 중 SCW형 지열에너지설비의 최저 COP기준(냉방 3.93, 난방 · 급탕 3.20)을 상회함
- 연구기술은 **기존 SCW기술 대비 평균 11.7% 효율향상**
- 연구과제의 목표인 기존SCW기술 대비 10%향상을 초과하는 결과도출

다. 시공비절감 검증

개발기술중 계절가변형과 기존 SCW 시공비절감 검증은 2019년 3월25일부터 2019년4월 동안 한국산업경제연구소를 통해 실시하였으며, 동일조건으로 설계되는 기계실 설비 및 배관을 제외한 지열공의 굴착 및 지열열교환기 시설물의 설치 시 소요되는 시공비에 대한 원가분석을 실시하였으며, 분석방법 및 결과는 다음과 같다.

(1) 비교기준

(가) SCW 1개공 굴착(500m) 및 양수시설물 설치에 소요되는 비용과 계절가변형 2개공 굴착(250m×2개공) 및 양수시설물 설치에 소요되는 비용을 비교함

(나) 지열열교환기 설치를 제외한 기계실 설비는 동일하게 적용되기 때문에 비교항목에서 제외함

(다) 공사에 적용되는 단가 및 일위대가표는 가격정보, 물가자료 및 물가정보에 기재된 거래실례가격 및 적산자료, 2019년 표준품셈, 토목품셈, 지하수 개발이용시설 공사 설계실무요령(국토해양부, 한국수자원공사, 2009.11) 및 2018년 건설신기술품셈을 적용하였다.

(라) 경비내역에 포함된 보험료 및 비율은 2018년 하반기 자료를 적용하였다.

(2) 원가분석 결과 기존 SCW방식으로 공사시 ₩186,166,036원이 산정되었으며, 계절가변형을 공사시 ₩163,238,032원으로 산정되었으며, 계절가변형 설치시 기존공법 대비 12.32%(₩22,928,004)의 공사비가 절감되는 것을 확인할 수 있었으며, 이는 연구과제의 목표인 기존공사대비 10%절감효과 이상의 절감효과를 볼 수 있다는 결론을 도출할 수 있다.

〈표 3-12〉 원가분석비교표

단위 : 원/공

구 분			기존 SCW공법 (A)	연구기술공법 (B)	대비(%) (B/A)	비 고 차액(B-A)
품 명			T.S 접합	열융착 접합		
규 격			PVC 파이프 Ø140mm×500m	HDPE 파이프 Ø75mm×500m		
원가항목	가. 순공사비	직접재료비	28,248,067	25,588,528	90.59%	-2,659,539
		직접노무비	59,777,612	49,500,085	82.81%	-10,277,527
		기계경비	25,236,875	18,920,546	74.97%	-6,316,329
		소 계	113,262,554	94,009,159	83.00%	-19,253,395
	나.	간접노무비	7,531,979	6,237,010	82.81%	-1,294,969
	다.	경 비	15,857,692	13,319,451	83.99%	-2,538,241
	라.	일반관리비	8,199,133	6,813,937	83.11%	-1,385,196
	마.	이 윤	17,490,493	14,218,654	81.29%	-3,271,839
	바.	자 재 비	6,900,000	13,800,000	200.00%	6,900,000
	사.	총 원 가	169,241,851	148,398,211	87.68%	-20,843,640
	아.	부가가치세	16,924,185	14,839,821	87.68%	-2,084,364
	합 계 (사+아)		186,166,036	163,238,032	87.68%	-22,928,004

라. 지하수 연동제어기술 개발

일반적인 개방형 지열시스템의 열교환구조는 대략 500m 깊이의 지열공 즉, 지하수 관정을 개발하고 그 안에 수중 모터펌프를 설치하여 파이프 배관을 통해서 열교환기까지의 연중 15℃ 내외의 온도를 가진 지하수를 보내고, 열교환기와 열교환이 이루어진 지하수는 자시 지열공으로 다시 회수하는 구조를 가진다.

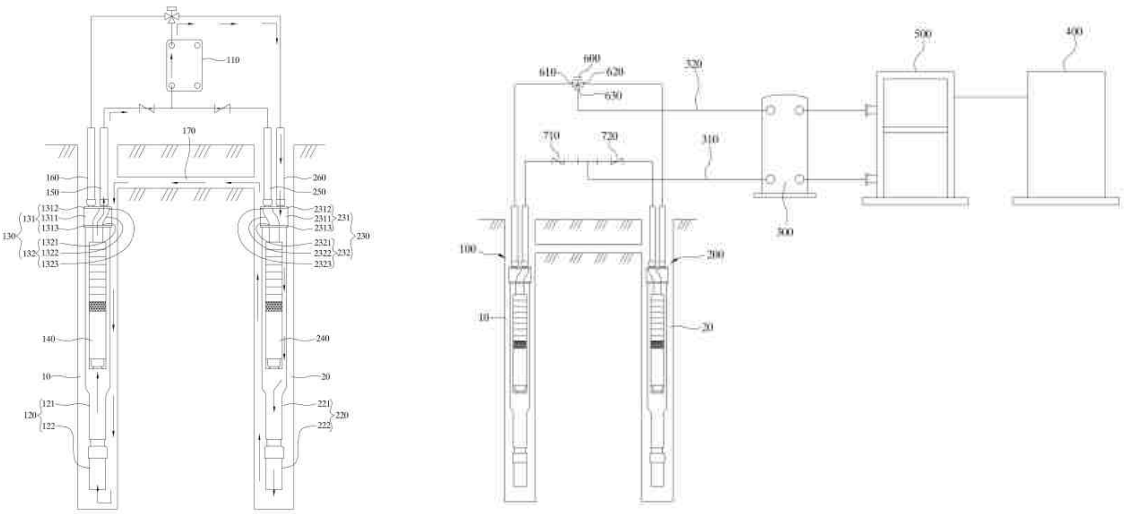
이러한 기존 지열시스템의 열교환구조는, 지열공과 열교환기를 지속적으로 순환하면서 열교환되는 지하수에 의해, 지열공의 열복원 능력이 점차 감소되면서 열효율이 떨어지는 문제점이 발생된다.

지열시스템의 다른 문제점은 열효율을 높이기 위해 지열공의 깊이를 500m 정도로 깊게 파야 한다는 점이다. 지열공의 깊이를 깊게 팔수록 열효율이 향상되지만 시공비가 크게 증가된다. 지열공 시공은 지열시스템의 시공비 중 가장 큰 비중을 차지하는 부분으로써, 지열공의 깊이가 깊어질수록 굴착할증비가 발생함으로 인해 지열시스템의 시공비가 급격하게 상승하게 된다.

또한, 지열공의 굴착깊이를 깊게 파는 도중 또는 굴착 후에 공벽의 유실이 발생되며 이로 인해 굴착심도 감소로 인해 지하수의 순환통로가 차단되는 문제가 빈번하게 발생된다.

그리고, 암반 등이 매장된 지중의 제반요인에 의해 수직으로 깊게 천공되지 못하는 경우가 종종 발생되며, 이에 따라 지열공을 이용하여 지열시스템의 열효율을 향상시키는데 한계가 있다.

이를 해결하고자 본 연구과제에서는 지열공의 심도를 낮추어 지열공을 상호 연결함으로 열효율을 증대시킬 수 있는 투웰방식 개방형 지열시스템 및 지하수의 양수 및 환수배관의 설치가 용이하도록 한 더블릿 하우징 및 제어부를 통해 계절적 특성에 따라 지하수이 순환방향을 달리 함으로 냉난방의 효율을 극대화 시킬 수 있으며, 양수중인 수중모터의 문제가 발생하더라도 즉시 다른 지열공의 수중모터펌프를 가동함으로 지속적인 냉난방 운용이 가능한 계절가변형 지열시스템을 구성 적용하였다. 〈그림 3-8〉



(a) (b)

〈그림 3-8〉 (a) 더블렛하우징을 적용한 지열시스템 모식도 (b) 지중열교환기의 호환 제어기술이 구비된 지열냉난방시스템 모식도

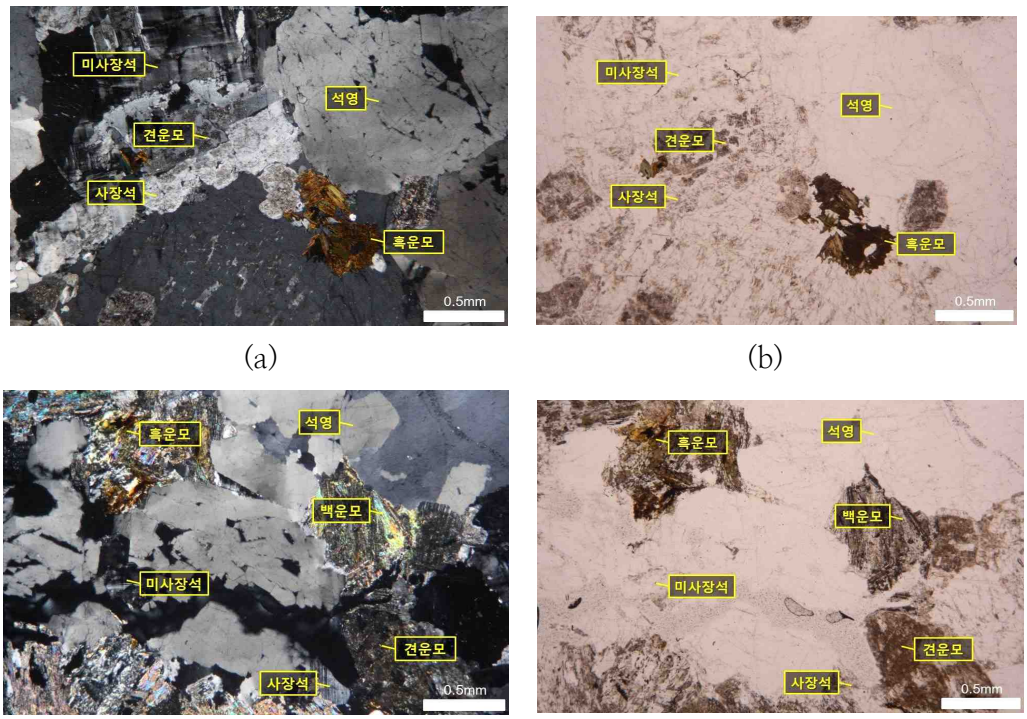
마. 에너지효율 증대를 위한 요인인자 검토

(1) Test bed 대상부지의 수리지질특성 분석

(가) Test bed 지질학적 특성조사 결과

① 조사지역의 지질분포 특성

조사지역의 지질은 중생대 쥬라기의 대보화강암으로 거정질화강암에 해당 함.

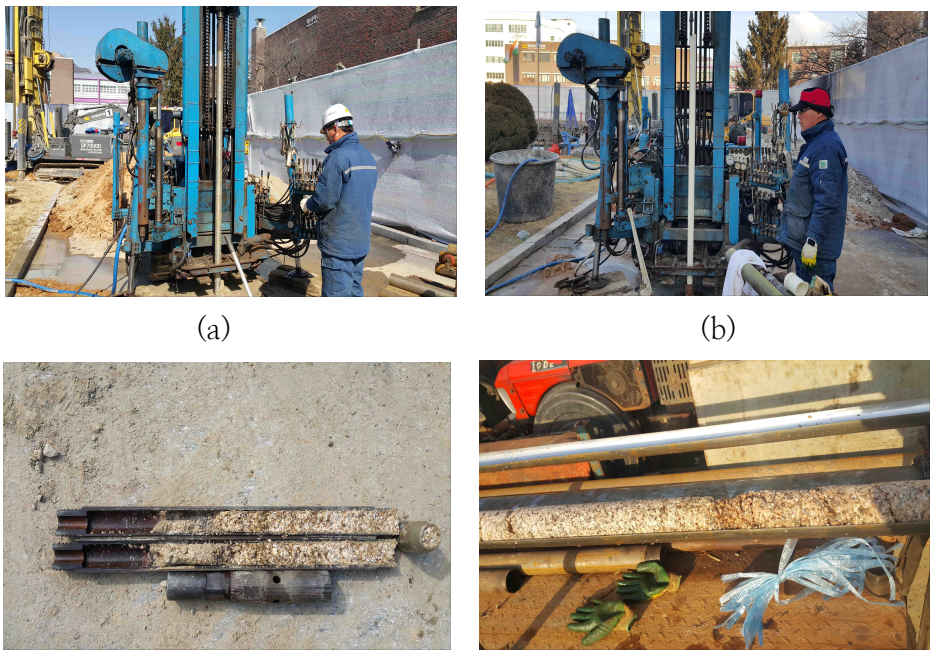


〈그림 3-9〉 Test bed 분포 암석의 현미경 사진

((a) OB-1 Cross, (b) OB-1 Open, (c) OB-2 cross, (d) OB-2 open)

② 조사지역의 정밀 지질분포 특성

조사지역에는 시험정5개소와 관측정 2개소를 설치하였으며 관측정 2개소의 경우 정밀지질조사를 위해 core sampling을 시행.



〈그림 3-10〉 Test bed 관측공 시공사진 ((a) NX- 시추작업, (b) PVC casing 설치작업, (c) 풍화암 core 사진, (d) 파쇄대 core 사진)

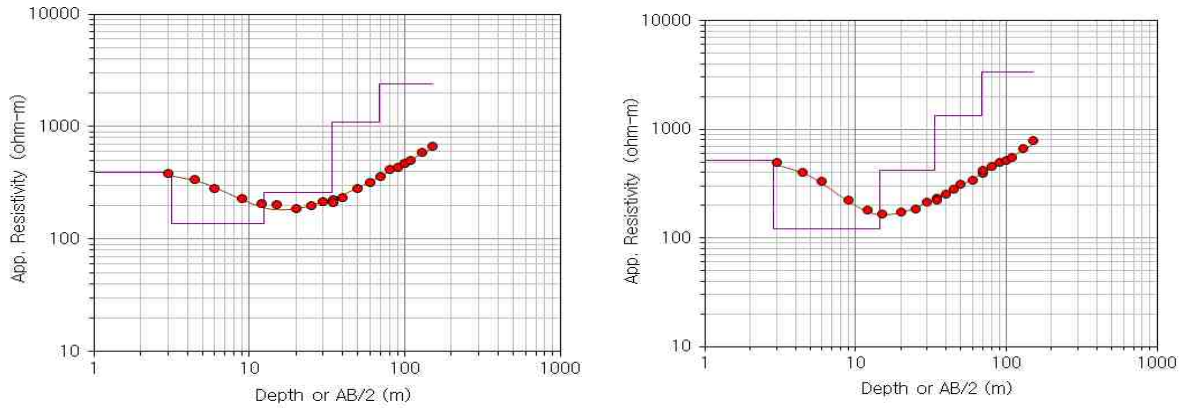
(나) Test bed 지구물리학적 특성조사 결과

① 조사지역의 전기비저항 탐사를 통한 지질분포 분석분석

조사지역에는 충적층이 2.9~3.2m의 두께로 분포하고 풍화암이 지표하 33.6~34.1m 까지 분포하는 것으로 분석됨.



〈그림 3-11〉 Test bed 전기비저항탐사 전경



〈그림 3-12〉 Test bed 전기비저항탐사 분석그래프

〈표 3-13〉 Test bed 전기비저항탐사 분석결과

Measuring Position	Depth(m)	Electrical resistivity (Ω·m)	Geology	remark
Test_SY-1	0.0 ~ 3.2	393	충적층	표 토
	3.2 ~ 12.4	138	풍화대	풍화토
	12.4 ~ 34.1	262		풍화대
	34.1 ~ 69.3	1102	암 반	연 암
	69.3이하	2404		경 암
samyuk2	0.0 ~ 2.9	521	충적층	표 토
	2.9 ~ 14.5	120	풍화대	풍화토
	14.5 ~ 33.6	417		풍화대
	33.6 ~ 69.2	1329	암 반	연 암
	69.2이하	3338		경 암

② 조사지역의 토양의 입도분포 분석

조사지역의 토양은 상부 표토층에 무기질 점토층이 분포하고, 이후 16m 까지 토양분류 SM에 해당하는 실트질 모래로 분류.

〈표 3-14〉 토양입도분석에 의한 USCS 토양분류

Boring No.	Depth m	M/C %	ρs g/㎤	Atterberg Limits(%)		Grain Size Distribution %,Finer than									U.S.C.S.
				LL	PI	mm 0.01	mm 0.08	mm 0.11	mm 0.25	mm 0.43	mm 0.85	mm 2.00	mm 4.75	mm 9.5	
SY-1	1.0	22.9	2.689	45.7	22.6	26.5	72.8	73.5	77.2	79.3	85.6	92.4	100.0		CL
	2.0	18.7	2.660	NP	-	9.1	37.0	38.6	46.3	50.6	63.6	81.8	98.6	100.0	SM
	3.0	18.0	2.658	NP	-	8.3	36.8	39.2	46.8	51.5	65.0	82.7	99.1	100.0	SM
	6.0	18.9	2.650	NP	-	6.4	21.5	23.2	31.9	36.9	51.0	75.0	98.2	100.0	SM
	9.0	14.3	2.653	NP	-	7.4	26.8	29.5	37.7	42.7	58.0	79.5	99.1	100.0	SM
	12.0	19.2	2.657	NP	-	6.7	20.3	21.8	30.6	35.9	49.5	73.4	98.7	100.0	SM
	15.0	14.0	2.660	NP	-	8.2	25.9	28.9	37.4	42.6	58.0	81.4	98.7	100.0	SM
	16.0	13.2	2.654	NP	-	5.0	18.4	20.5	30.5	36.0	51.0	74.2	96.3	100.0	SM
SY-2	1.0	24.9	2.682	39.6	18.4	22.9	60.2	61.6	66.3	68.7	76.1	87.2	97.8	100.0	CL
	2.0	18.5	2.684	28.2	7.7	20.4	56.3	57.9	64.5	67.6	75.3	85.6	98.3	100.0	CL
	3.0	15.5	2.675	29.1	8.3	16.4	44.6	46.3	53.5	57.0	65.3	78.4	97.9	100.0	SC
	6.0	15.9	2.657	NP	-	9.7	28.5	30.8	37.1	41.3	55.5	76.1	97.2	100.0	SM
	9.0	17.7	2.654	NP	-	10.5	27.1	28.9	36.3	42.1	57.4	80.6	99.6	100.0	SM
	12.0	21.0	2.656	NP	-	8.3	23.4	25.6	33.7	39.5	55.3	81.0	98.9	100.0	SM
	15.0	12.5	2.648	NP	-	6.0	18.5	20.5	31.0	36.8	52.7	76.4	98.2	100.0	SM
	16.0	13.3	2.650	NP	-	7.3	19.9	22.4	30.8	36.4	51.5	74.9	98.2	100.0	SM

(다) 암석의 구성광물에 따른 수질의 화학변화 예측

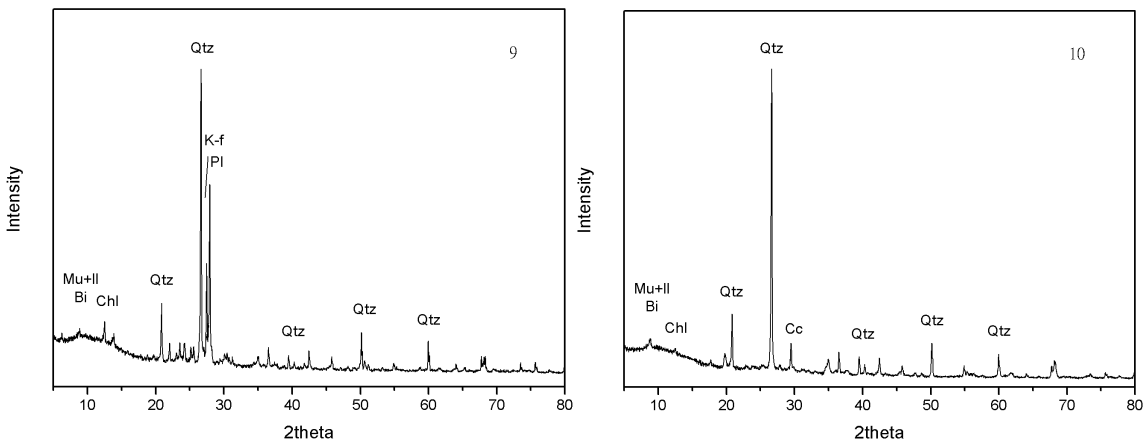
① XRF 분석결과

정량분석은 Netherland Philips사 PW-2400 파장 분광형 X-ray Fluorescence Spectrometer의 전용 분석 소프트웨어인 SUPER-Q를 이용하여 분석 하였으며 진공분위기(2.5 Pa)하에서 가속전압 24~40Kv범위 전류 50~80㎃를 가하여 분석하였음.

정량분석은 Brammer standard company Inc. U.S.A에서 구입한 NIM 계열의 광물 표준시료 10계를 기준으로 검량선을 작성하여 정량함.

〈표 3-15〉 XRF 분석결과 (Core 샘플 활용)

	PW-1		PW-2		PW-3		PW-4		PW-5	
	GL-108.2m	GL-211.6m	GL-48.7m	GL-140.3m	GL-62.8m	GL-157.4m	L-51.4m	GL-155.5m	GL-64.9m	GL-160.2m
Al_2O_3	15.21	14.59	15.01	16.74	13.37	14.60	13.06	14.07	13.24	12.22
CaO	4.65	7.58	1.78	0.60	1.71	0.95	6.95	0.35	1.43	2.96
Cr_2O_3	0.02	0.04	0.04	0.01	0.04	0.04	0.03	0.03	0.04	0.03
Fe_2O_3	3.18	2.48	1.68	2.73	1.95	2.33	2.47	2.79	1.55	3.50
K_2O	3.25	4.06	6.11	5.91	3.58	5.52	3.43	3.95	3.39	3.60
MgO	0.91	0.78	0.29	0.70	0.43	0.50	0.72	0.65	0.33	0.77
MnO	0.09	0.17	0.08	0.04	0.07	0.07	0.10	0.05	0.05	0.11
Na_2O	3.35	3.43	3.08	1.68	3.40	3.44	3.55	3.22	2.82	0.00
P_2O_5	0.06	0.08	0.04	0.09	0.07	0.07	0.05	0.06	0.06	0.07
SiO_2	66.65	59.84	69.70	69.11	73.28	71.54	62.69	73.28	74.91	72.26
TiO_2	0.21	0.20	0.08	0.24	0.17	0.18	0.13	0.16	0.14	0.22
LOI	2.42	6.75	2.11	2.15	1.93	0.76	6.82	1.39	2.04	4.26
Total	97.58	93.25	97.89	97.85	98.07	-58.16	93.18	98.61	97.96	-64.46



(a) (b)

〈그림 3-13〉 XRF 분석결과 예제(PW-5번공 GL-64.9, 160.2m)

(라) Test bed 수리지질학적 특성조사 결과

① 조사지역의 대수성시험

〈표 3-16〉 지열정의 대수성시험 시험정의 제원

Well No.	Well Depth (GL-m)	Casing Depth(m)	Ground water level (GL-m)	Meas. Point(m)	GWL(m)
PW-1	500	29	8.96	0.06	8.9
PW-2	250	27	9.34	0.25	9.09
PW-3	250	27	9.37	0.43	8.94
PW-4	250	27	9.24	0.23	9.01
PW-5	250	27	9.33	0.24	9.09

② 지열정의 단계대수성시험(Step drawdown test)

단계대수성은 각각 4~5단계를 수행하였으며 이중 변곡점에 의해 적정양수량이 계산된 공은 PW-2번 공임. 나머지 공들은 예상 양수량을 넘어서는 적정양수량을 보이고 있음.

〈표 3-17〉 지열정의 단계대수성시험 결과

Well No.	GWL (m)	Pumping rate (Q, m3/day)					Drawdown water level (Sw, m)					Optimum yield (m3/day)
		1st	2nd	3rd	4th	5th	1st	2nd	3rd	4th	5th	
PW-1	9.28	150	200	250	300	-	-1.21	7.05	7.48	7.92	-	300〈
PW-2	9.35	40	50	60	70	-	13.2	18.09	24.62	41.47	-	60
PW-3	9.41	70	80	90	100	-	10.59	12.7	15.26	18.09	-	100〈
PW-4	9.64	150	200	250	300	350	1.15	1.86	2.48	2.99	4.07	350〈
PW-5	9.84	100	200	300	400	-	0.65	1.1	1.91	2.64	-	400〈

③ 지열정의 장기대수성시험(Long-term pumping test)

장기대수성시험 결과 투수량계수(T, cm2/sec)는 0.07~23.12cm2/sec의 범위를 보이고 PW-2번공을 중심으로 PW-1번공 사이의 수리상수값이 이방성을 띠고 있음

〈표 3-18〉 지열정의 장기대수성시험 결과

Well No.	GWL (m)	Depth of Well (m)	Diameter of well (㎜)	Thickness of Aquifer (m)	Distance of observation well (m)	pumping rate (m3/day)	Hydraulic characteristic				Sol. Meth.
							SPC	T (cm2/sec)	K (cm/sec)	S	
PW-1	9.81	500	200	490.19	13 (OB-1)	300	4.13	9.17	1.87E-04	3.90E-03	Theis
								10.11	2.06E-04	2.90E-03	C&J
								23.12	4.72E-04		Reco
								14.13	2.88E-04	3.40E-03	S.total
PW-2	9.36	250	200	240.64	0.3 (Single)	50	0.27	0.19	7.90E-06	1.10E-03	Theis
								0.16	6.65E-06	1.90E-03	C&J
								0.07	2.91E-06		Reco
								0.14	5.82E-06	1.50E-03	S.total
PW-3	9.44	250	200	240.56	10 (PW-4)	90	0.59	11.82	4.91E-04	2.86E-04	Theis
								14.18	5.89E-04	9.30E-05	C&J
								15.03	6.25E-04		Reco
								13.68	5.69E-04	1.90E-04	S.total
PW-4	9.79	250	200	240.21	8 (OB-2)	300	9.94	15.04	6.26E-04	2.36E-05	Theis
								15.98	6.65E-04	1.65E-05	C&J
								18.63	7.76E-04		Reco
								16.55	6.89E-04	2.01E-05	S.total
PW-5	9.93	250	200	240.07	7 (OB-2)	400	12.73	10.93	4.55E-04	3.25E-04	Theis
								9.44	3.93E-04	9.03E-04	C&J
								17.69	7.37E-04		Reco
								12.69	5.28E-04	6.14E-04	S.total
OB-1	-	80	75	-	-	-	-	-	-	-	
OB-2	-	80	75	-	-	-	-	-	-	-	

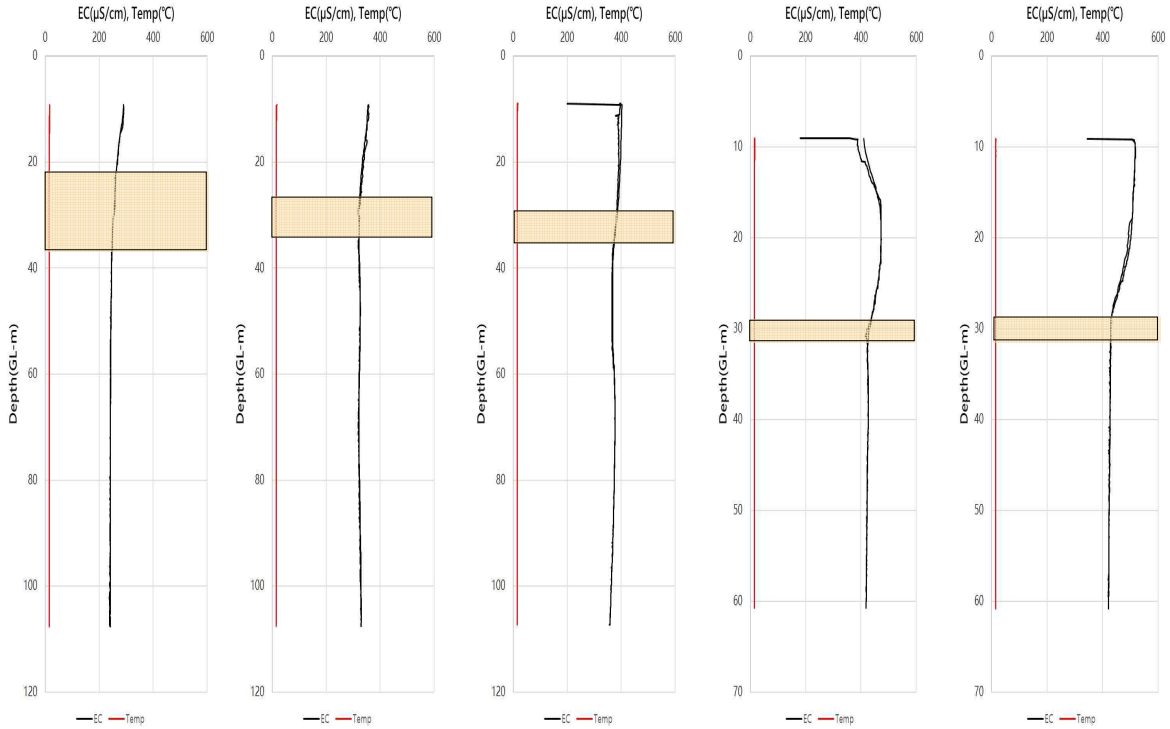
(마) Test bed 수리화학적 특성조사 결과

① 조사지역의 수직적 수질분포 현황

조사지역에서 측정된 수직적인 수질분포는 주대수층으로 예상되는 25~35m 사이에서 전기전도도의 변화를 보이고 있음




〈그림 3-14〉 지열공 수질검층 사진



〈그림 3-15〉 지열공 수질검층 결과 및 수질변화구간

② 조사지역의 배경수질 분석결과

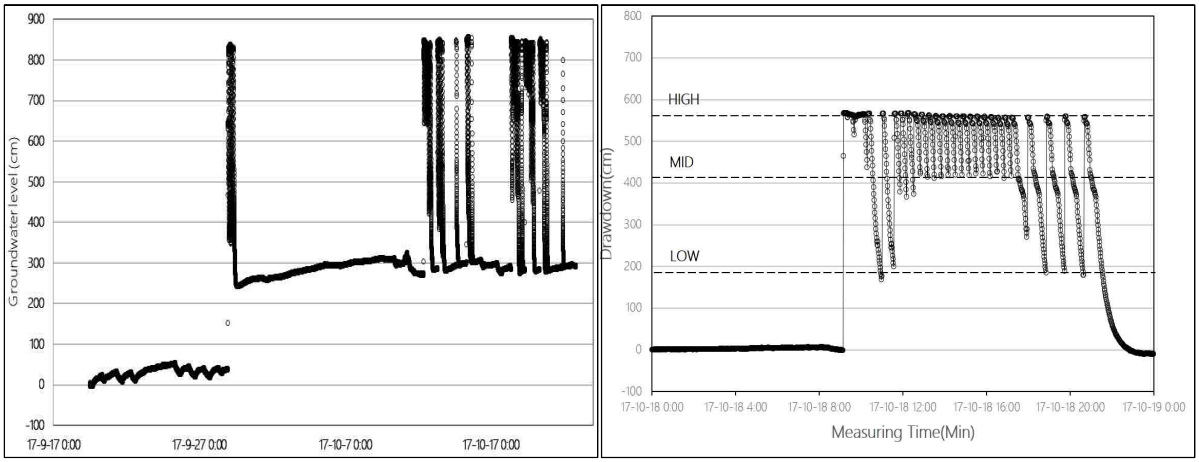
〈표 3-19〉 조사지역의 배경수질 분석

NO.	Ca	K	Mg	Na	Si	Al	Fe*	Mn*	Cl	Br	NO^{3-}	SO_4^{2-}	HCO^{3-}
SY-1	31.565	1.498	5.221	18.094	16.942	N.D.	N.D.	N.D.	18.2	N.D.	23.0	19.2	70.0
SY-2	36.57	2.115	5.041	17.992	14.683	N.D.	N.D.	N.D.	32.9	N.D.	16.9	22.1	61.0
PW-1	24.648	3.025	3.541	15.089	16.406	0.132	0.051	0.040	17.2	N.D.	37.4	18.1	46.0
PW-2	31.102	1.971	4.787	18.355	17.903	N.D.	N.D.	0.044	26.9	N.D.	35.2	17.6	57.0
PW-3	48.662	1.407	6.182	21.280	17.009	N.D.	N.D.	0.007	41.0	N.D.	32.7	17.0	97.0
PW-4	49.314	1.870	6.483	23.138	17.218	N.D.	N.D.	0.016	56.6	N.D.	25.9	24.3	73.0
PW-5	45.146	2.291	6.840	23.824	17.045	N.D.	N.D.	0.011	59.5	N.D.	24.8	25.4	58.0

(2) Test bed 대상부지의 System 가동에 따른 물리적 및 화학적 변화 모니터링

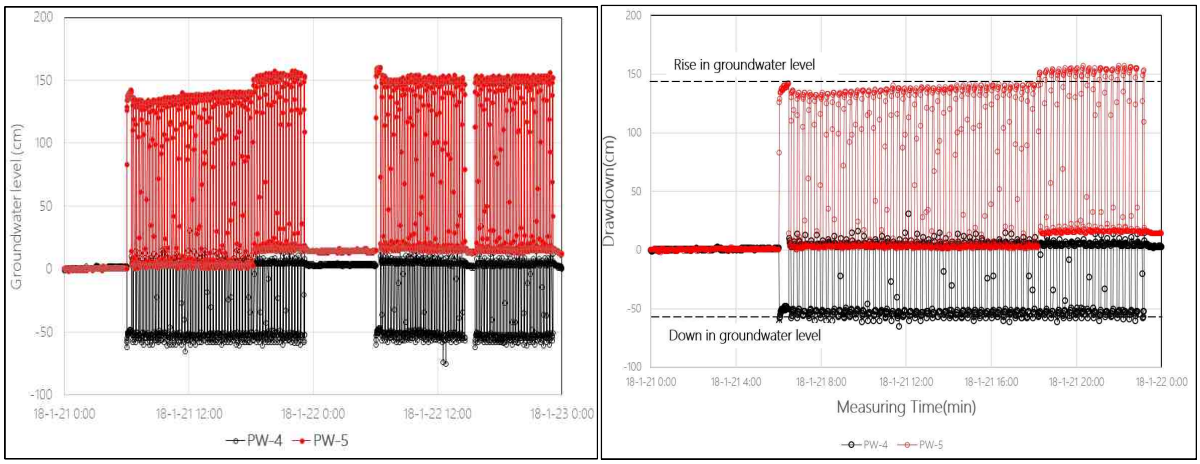
(가) 수리지질학적 차이에 따른 수위변동 모니터링

① 수위변동 모니터링



(a) (b)

〈그림 3-16〉 PW-2 장기수위변동(a) 및 단기수위변동(b) 모니터링 결과



(a) (b)

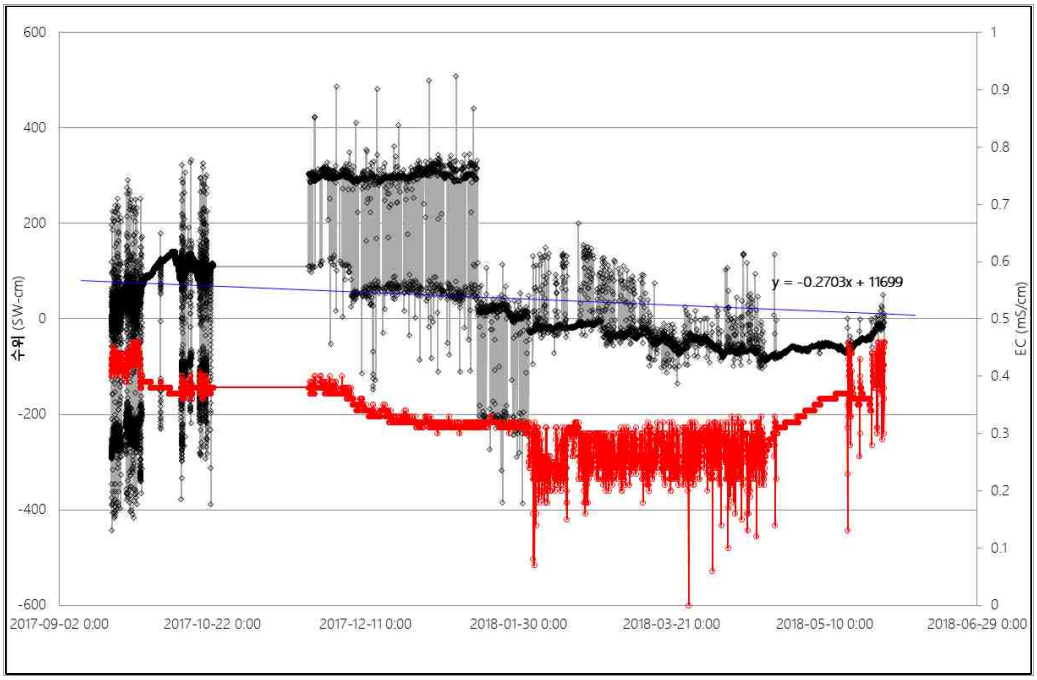
〈그림 3-17〉 PW-4, 5 장기수위변동(a) 및 단기수위변동(b) 모니터링 결과

② PW-2번공의 경우 낮 시간대에 17~22분의 간격운영, 6시 이후에 38~42분으로 넓은 시간 간격을 유지하며 시스템을 가동.

③ 수위의 상승은 자연수위를 기준으로 최대 7.64 m가 상승, 짧은 가동시간대에서 6.20 m, 넓은 가동시간대에서는 3.85 m까지 수위의 회복이 발생하였다. Spill way를 설치한 결과 순환수가 PW-3번공으로 환수 지하수위의 상승이 발생하지 않음.

④ 채수공 PW-4번공에서는 0.57 m의 수위 강하가 발생, 환수공인 PW-5번공에서는 1.42 m의 수위상승이 발생. 수리특성이 높은 대수층에서는 Spill way 설치구간 하부까지 수위상승이 발생

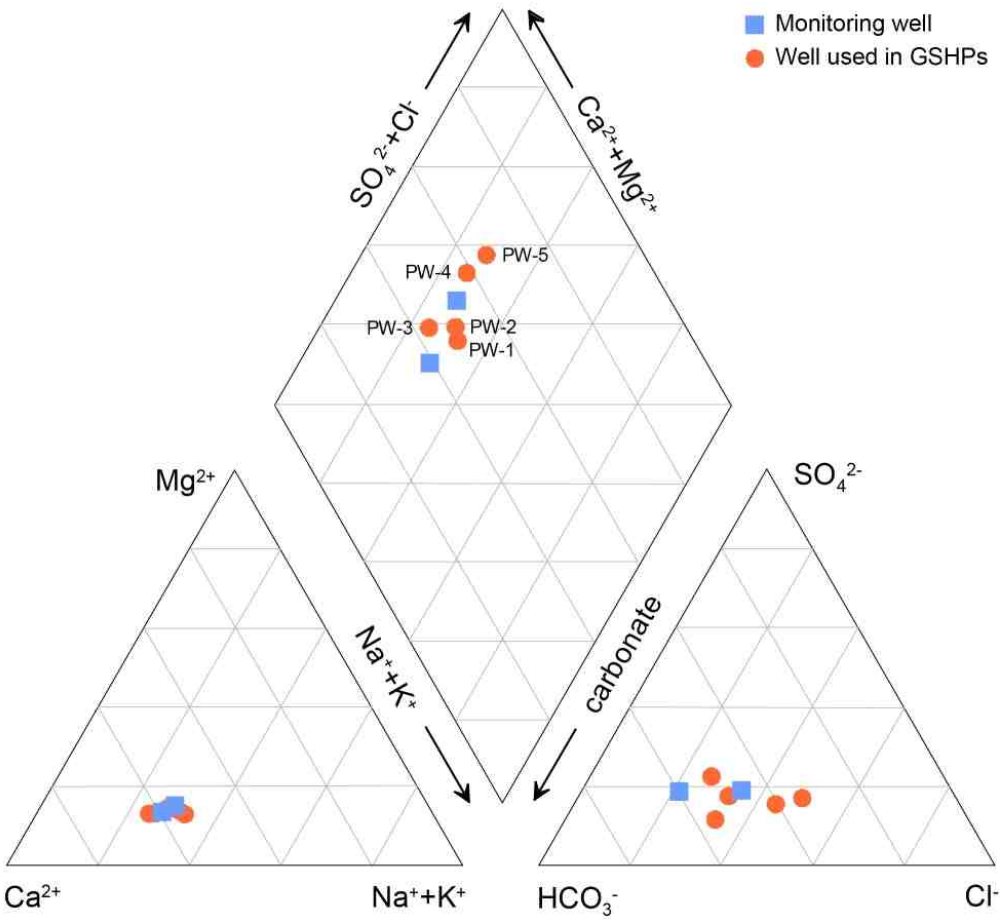
⑤ System 운영중 전기전도도의 변화가 발생하는 것으로 분석되고 있어, 운전상태, 강우등의 연관관계를 분석중



〈그림 3-18〉 PW-1 수위강하에 따른 전기전도도변화 분석

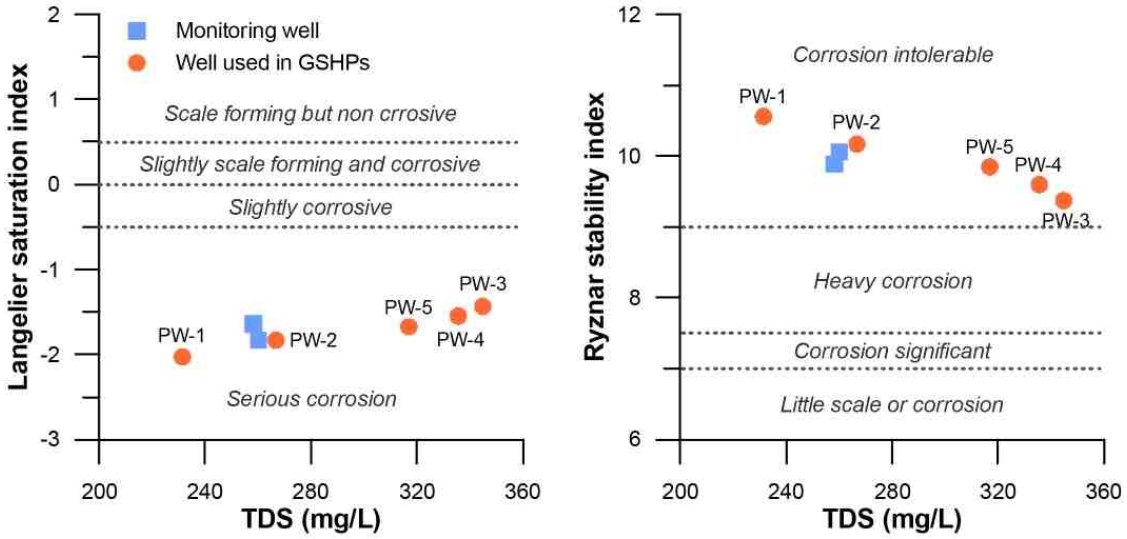
(나) 수질 모니터링에 따른 수질변화 예측 및 변화요인 도출

① 조사지역 지하수의 수질유형을 판단하기 위해 분석된 지하수의 화학조성을 이용하여 파이퍼다이어그램에 도시하였음. 그 결과 조사지역의 지하수는 Ca-HCO_3형으로 분류 됨



〈그림 3-19〉 지하수의 화학조성을 이용한 Piper Diagram

② 탄산염광물의 침전에 관한 연구를 위해 침전가능성이 높은 광물을 대상으로 평행모델링 이용하여 스케일링이 발생할 가능성을 분석하였음. 그 결과 현재 스케일링 가능성은 낮은 것으로 분석됨



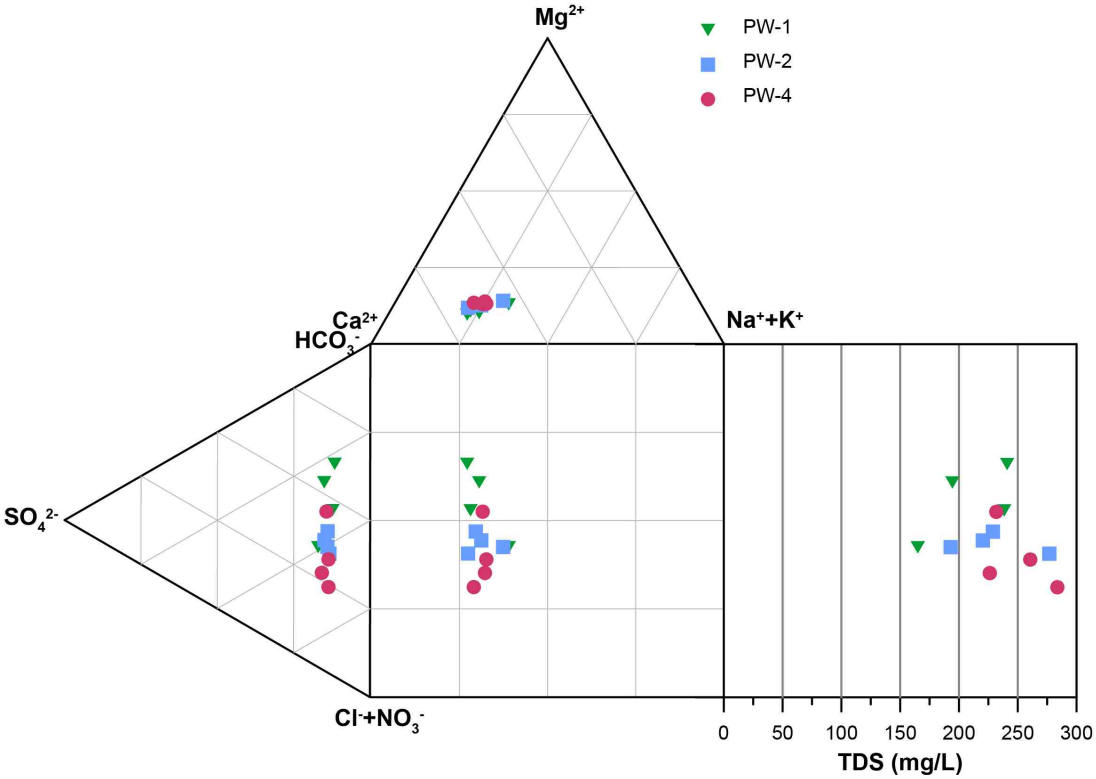
〈그림 3-20〉 Langelier saturation index (LSI)와 Ryznar stability index (RSI)

③ 연구부지에 설치된 지열공 내 지하수의 pH=6.4~7.0, $NO^{3-}N$=4.9~5.9 mg/L, Cl-=21.2~38.3 mg/L의 범위를 보였으며 나머지 16개 항목은 검출되지 않음. 생활용수 검사 항목 종에 pH=5.8~8.5, $NO^{3-}N$〈20 mg/L, Cl-〈250 mg/L이므로 설치된 지열공의 수질은 환경부의 수질기준을 만족

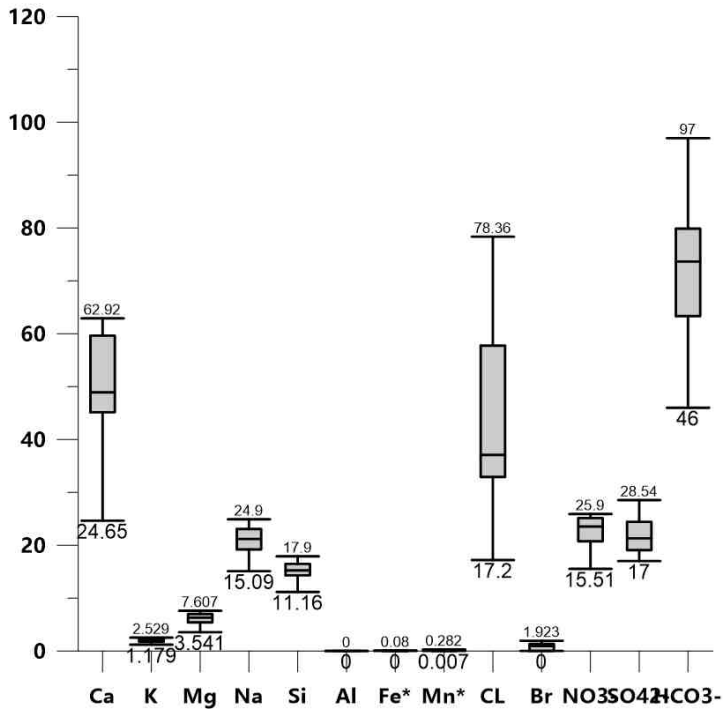
④ 지열공 내 용존성분들 중에 Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}, SO_4^{2-}의 농도는 연구기간 동안에 거의 일정한 값을 보였던 반면에 HCO^{3-}, Cl^{-}, NO^{3-}는 시기별로 변화를 보임.

⑤ HCO^{3-}(46.0~113 mg/L), Cl-(17.2~78.4 mg/L), NO^{3-}(15.5~37.4 mg/L)는 시스템 주변의 토양으로부터 공급될 수 있는 성분들이며 특히 가장 넓은 농도범위를 보이는 Cl^{-}는 제설제로부터 공급될 수 있으며 지열공들 중에 도로 옆에 위치한 PW-4가 가장 높으며 특히 겨울에 78.4 mg/L로 가장 높은 값을 보임.

⑥ 이번 연구에서 탄산염 광물종의 용해 또는 침전과 관련이 있는 Ca^{2+}, Mg^{2+}의 농도가 각각 24.6~60.9 mg/L와 3.54~7.58 mg/L로 변화를 보이기는 하였지만 이러한 변화를 지열시스템에 의한 영향으로 평가하기는 어려우며 향후 지속적인 관측을 통해 이를 명확하게 규명할 필요가 있음



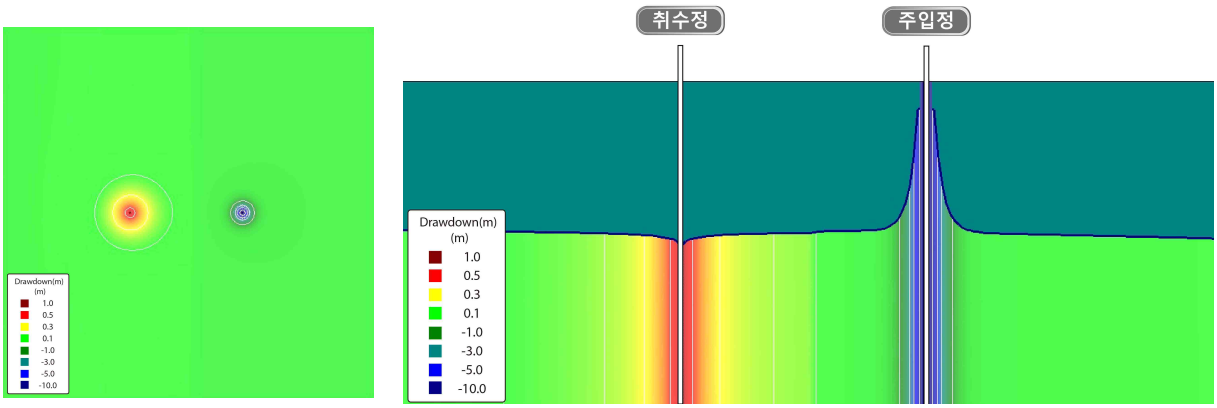
〈그림 3-21〉 Durov diagram showing water chemistry of wells using GWHP system



〈그림 3-22〉 Ion analysis result of Open Loop Ground source Heat pump in test bed (Box-whisker's grapher)

(다) 3차원 수치모델링을 통한 Spill way 심도 계산

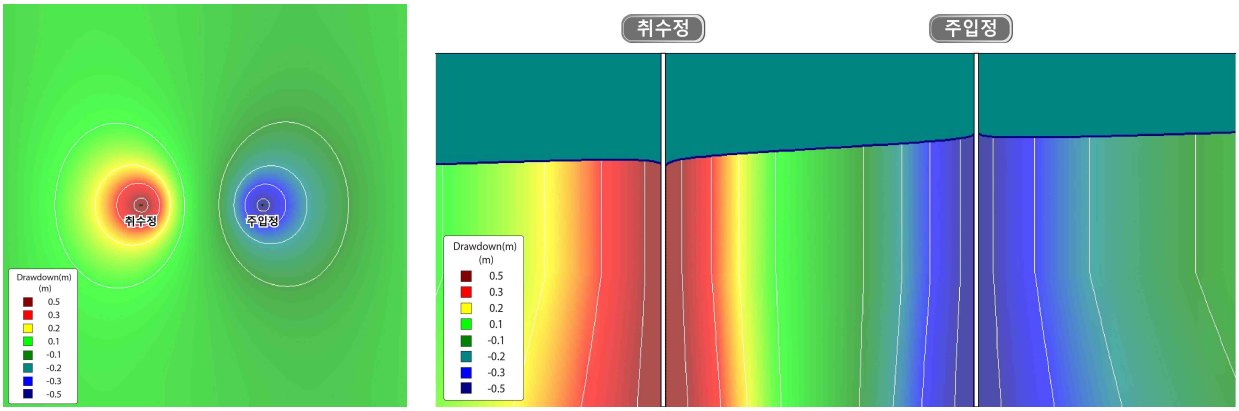
① 단방향 System의 수위변동 예측



(a) (b)

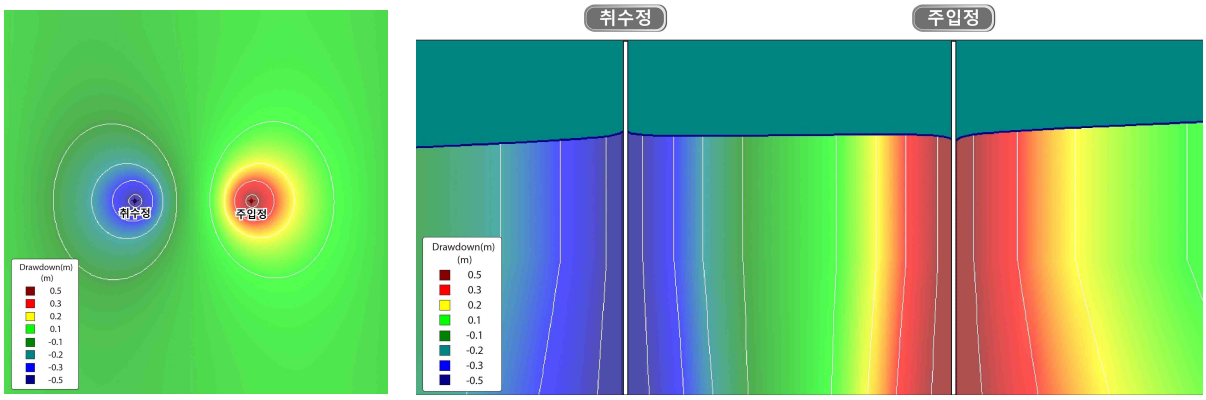
〈그림 3-23〉 채수정과 주입정의 수위변화 (a) 평면, (b) 단면 (PW-3, PW-2)

② 양방향 System의 수위변동 예측



(a) (b)

〈그림 3-24〉 채수정과 주입정의 수위변화 (a) 평면, (b) 단면 (Forward direction)



(a) (b)

〈그림 3-25〉 채수정과 주입정의 수위변화 (a) 평면, (b) 단면 (Reverse direction)

③ 취수정 PW-3에서 채수시 지하수위는 점차 하강하기 시작하여 1일경과시 약 0.90 m까지 하강하는 것으로 모사, 주입정인 PW-2에서는 지하수위가 점차 상승하기 시작하여 1일 경과 시 약 10m 까지 상승하여 지표유출(Overflow) 되는 것으로 모사

④ PW-5번공에서 채수시 지하수위는 점차 하강하기 시작하여 1일경과시 약 0.9 m까지 하강하는 것으로 모사, 주입정인 PW-4번공에서는 지하수위가 점차 상승하기 시작하여 1일 경과 시 약

0.84 m까지 상승하는 것으로 모사

⑤ PW-4번공에서 채수시 지하수위는 점차 하강하기 시작하여 1일경과시 약 0.86 m까지 하강하는 것으로 모사, 주입정인 PW-5번공에서는 지하수위가 점차 상승하기 시작하여 1일 경과 시 약 0.87 m까지 상승하는 것으로 모사

⑥ 대수층의 수리상수 값이 작은 PW-2, PW-3번공의 경우 채수와 주입을 시작한 후 약 1일이 경과된 시점에 지하수의 지표유출이 발생하였다. 반면에 상대적으로 수리상수 값이 큰 PW-4, PW-5번공의 경우 채수와 주입을 시작한 후 0.84~0.9 m 의 수위변화를 보이고 있음

⑦ 이 결과는 현장에서 직접 측정된 자료와 수치해석에 의해 계산된 수위변동 폭이 차이가 발생한다. 이는 실제 가동시간이 20~40분으로 너무 짧아 수치모델링에 적용하기에 부적합한 한계가 있었다. 하지만 전체적인 수위변화의 양상은 수리상수 값이 작은 곳에서 수위변화가 급격히 발생하고 수리상수 값이 큰 수리지질특성을 갖는 지층에서는 수위변화의 폭이 미미 하게 나타나는 동일한 현상을 보임

⑧ 개방형 지열공의 페어링기술 적용하기 위해서는 수리지질특성이 크지 않은 곳에 적용하는 것이 타당하고, 지하수를 이용하는 순환수의 지표유출이 발생하여 시스템의 효율이 저하되는 것을 개선하기 위한 적용지로 더 효과적 임

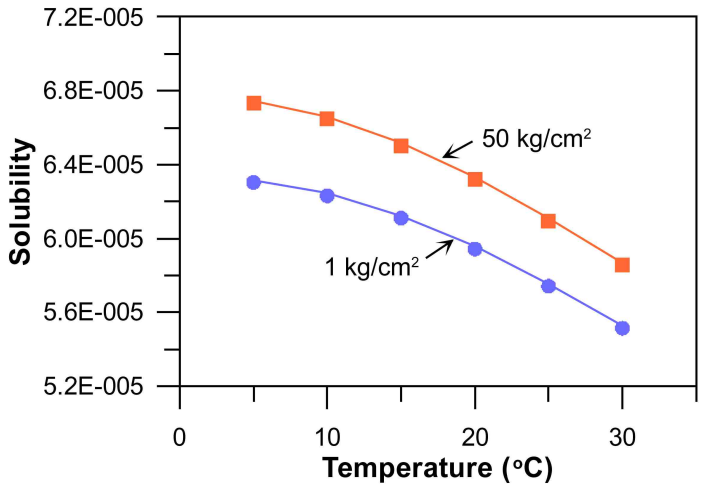
(3) System중 예측 가능한 화학 및 생물학적 변화요인의 관리요령

(가) 화학적 요인에 의한 스케일링 관리요령

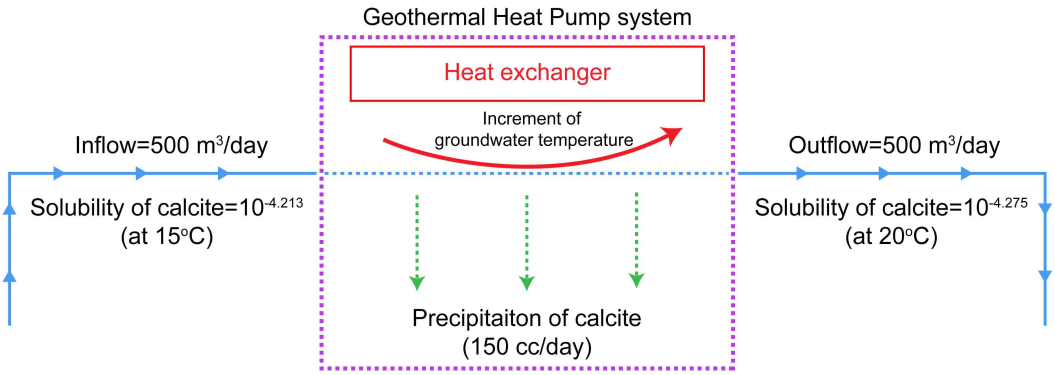
① 최근까지 수행된 연구에 따르면 개방형 지열시스템과 관련된 규정을 준수하는 경우에 지하수의 화학조성이 크게 변화하지 않은 것으로 알려져 있으며 또한 10℃ 이내의 온도변화를 보이는 지열시스템에서 사용되는 지하수의 화학조성은 뚜렷한 변화를 보이지 않으므로(Possemiers et al., 2014), 지하수의 화학조성 변화에 인한 에너지 효율저하는 크게 발생되지 않을 것으로 추정 됨

② 지열시스템의 난방모드로 운전 시 발생하는 수온상승과 압력감소는 지열시스템 내 탄산염 광물의 스케일링이 발생할 가능성이 높아짐. 탄산염 광물의 스케일 가능성은 지하수의 화학조성으로부터 계산한 탄산염 광물의 SI를 이용하여 평가할 수 있다. 스케일링의 가능성이 높아진 경우에는 물리적인 방법으로 지열시스템의 지열공 내부 청소와 순환수량의 증가에 따른 유속증가로 침전물을 제거할 수 있으며 또는 수온 및 압력 조절을 통해 강제로 과포화상태를 만든 후 침전시켜 물리적으로 배출시키는 방법이 있음

③ 지열시스템의 난방모드에서 열교환으로 인해 5℃ 수온이 상승하였을 때 탄산염 광물(대표적으로 방해석)의 용해도 감소로 인해 탄산염 광물의 스케일링이 다음과 같은 과정으로 생길 수 있음



〈그림 3-26〉 압력변화에 따른 탄산염 광물의 용해도 변화

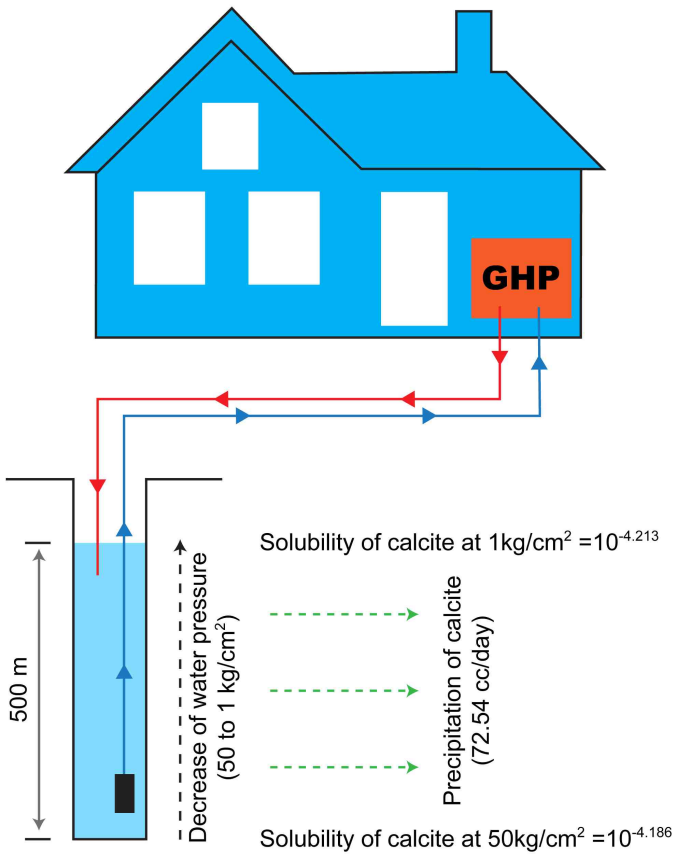


〈그림 3-27〉 지열시스템에서 열교환 시 수온증가로 인한 탄산염 광물의 침전

④ 지열시스템에서 500 m^3/day의 지하수를 순환시킬 때 150 cc/day의 방해석이 침전될 수 있으며 열교환기의 1 m^3의 면적을 피복하는데 367일이 소요되는 것으로 계산되므로 지열시스템에서 사용되는 지하수의 양과 열교환기의 면적을 고려해서 열교환기의 청소주기를 계산할 수 있음

⑤ 국내에 설치된 대부분의 SCW형 지열시스템에서 지열공의 심도는 500 m이다. 따라서 지열시스템의 운영 시 500 m에 있는 지하수가 지상까지 이동한 후에 열교환기에서 열교환이 이루어지는데 이 때 압력변화가 약 50 kg/m^2 일어날 수 있음.

⑥ 지열공에서 수온이 일정하고 압력변화만을 고려할 때, 압력감소로 인해 탄산염 광물의 용해도가 감소하며 지열시스템에서 500 m^3/day의 지하수를 순환시킬 때 침전 가능한 방해석의 총 부피는 72.54 cc/일로 계산됨). 따라서 지열시스템 내 배관의 직경과 길이를 고려해서 배관의 청소주기를 계산할 수 있음.



〈그림 3-28〉 개방형 지열시스템에서 지하수 양수 시 압력감소로 인한 탄산염 광물의 침전

⑦ 이론적으로 계산한 값이며 실제 지열시스템에서는 수온과 압력이 같이 변화하고 지하수의 유동속도와 같은 다른 요인의 영향도 받을 수 있으며 전물들이 파이프 벽에 침착하지 못하고 흐르는 지하수에 따라

그대로 운반되어 열교환기 내부 바닥에 가라 앉아 쌓일 수도 있기 때문에 지속적인 모니터링이 필요하다. 지열시스템이 운영되는 시설에서 취수 지점의 지하수 수질과 파이프 및 열교환기의 상태를 고려하여 계산된 값들을 보정하는 것이 바람직하다함

(나) 생물학적 요인에 의한 스케일링 관리요령

① 생물학적 요인으로 개방형 지열시스템의 에너지 효율저하가 보고된 사례는 거의 없으나 설문조사 시 지열시스템의 배관에 철수산화물의 침전이 확인된 사례가 있음. 다만 이러한 원인이 미생물에 의한 것인지 화학적인 것인지 명확하게 밝히지 못 함

② 국외에서 생물학적 요인으로 인해 침전된 물질에 의한 에너지 효율저하가 보고된 사례가 있으므로 국내에 설치된 지열시스템에서도 미생물 종의 변화에 대한 모니터링이 이루어져야 된다. 그러나 미생물 종 분석 시 많은 비용이 소요되므로 미생물 종 분석을 자주 하는 것은 현실적으로 어려운 측면이 있음

③ 생물학적 요인은 지하수의 수질을 변화시키므로 지하수의 수질 모니터링을 통해 간접적으로 확인하는 바람직한 것으로 판단되며 특히 철과 망간을 포함하는 물질의 침전이 빠르게 일어난다면 미생물 종 분석을 통해 미생물의 영향을 평가해야 될 것 임

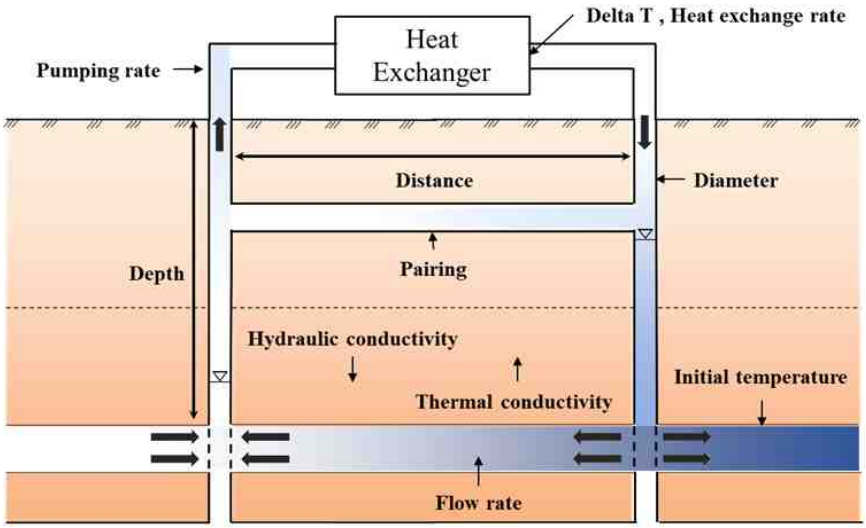
(4) 다중관정 지열 시스템 성능인자 분석

(가) 다중관정 지열 시스템의 성능인자는 지반조건, 설계조건, 운전조건으로 구분됨

① 지반조건에는 지반 투수계수, 열전도도에 따른 열원온도 분석을 실시함

② 설계조건은 관정 이격거리와 페어링 설치에 따른 열원온도 및 지하수위 분석을 실시

③ 운전조건은 양수량 및 온도차에 따른 열원온도 분석을 실시함.

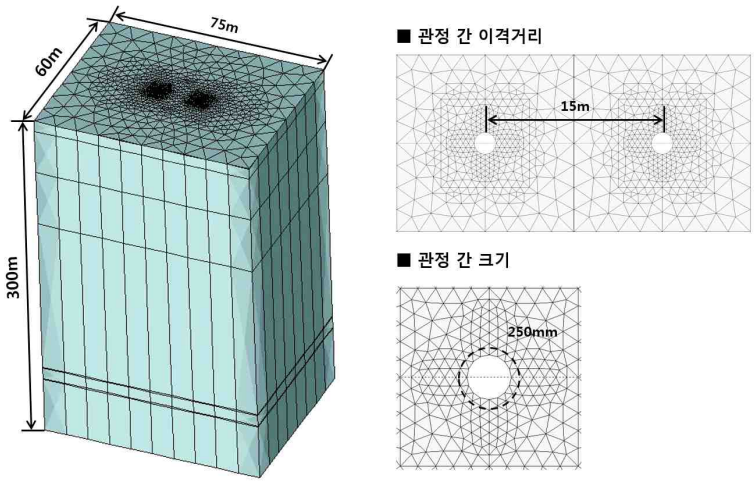


〈그림 3-28〉 다중관정 지열 시스템의 성능인자

(5) 수치해석 시뮬레이션 구축

(가) 지중열-지하수 이동을 동시 해석할 수 있는 프로그램(FEFLOW)를 이용하여 다중 관정(지중열교환기) 모델을 구축을 수행하였으며, Test bed 대상 부지의 수리지질특성 조사 결과를 바탕으로 토양 모델을 구현하였음.

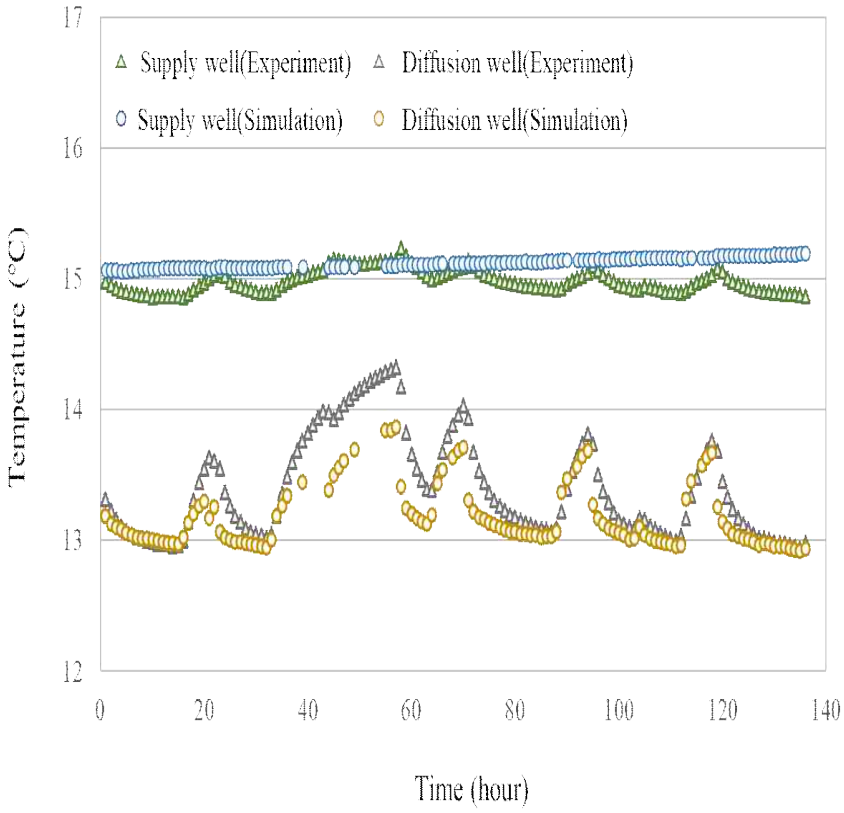
(나) 해석영역 75m x 60m x 300m, 관정 지름 250mm, 관정 간 이격거리 15m, 스크린 크기 10m로 관정 모델을 구현하였음.



〈그림 3-29〉 실증 플랜트를 모의한 수치해석 모델

〈표 3-20〉 실증 플랜트의 지반 수리지질조건

	Well 2	Well 3	Well 4	Well 5
자연수위 (m)	9.09	8.94	9.01	9.09
공극률	0.001	0.001	0.001	0.001
수리전도도 (m/s)	5.82 × 10-8	5.69 × 10-6	6.89 × 10-6	5.28 × 10-6
지중온도 (℃)	16.61	16.61	16.61	16.61
지중열전도도 (W/m·K)	2.944	2.944	2.944	2.944



〈그림 3-30〉 실증실험 데이터와 수치해석값 비교

〈표 3-21〉 실험데이터와 수치해석 데이터의 MBE 및 Cv(RMSE) 분석

Date	Experimental data (℃)		Simulation (℃)		MBE(%)		Cv(RMSE)(%)	
	Supply	Diffusion	Supply	Diffusion	Supply	Diffusion	Supply	Diffusion
1/18	14.89	13.05	15.08	13.04	-1.2	0.1	1.1	1.9
1/19	14.96	13.35	15.09	13.12	-0.9	1.8		
1/20	15.11	13.98	15.11	13.45	0.1	3.7		
1/21	15.00	13.41	15.13	13.21	-0.8	1.5		
1/22	14.96	13.28	15.16	13.16	-1.3	0.9		
1/23	14.94	13.21	15.18	13.12	-1.6	0.7		

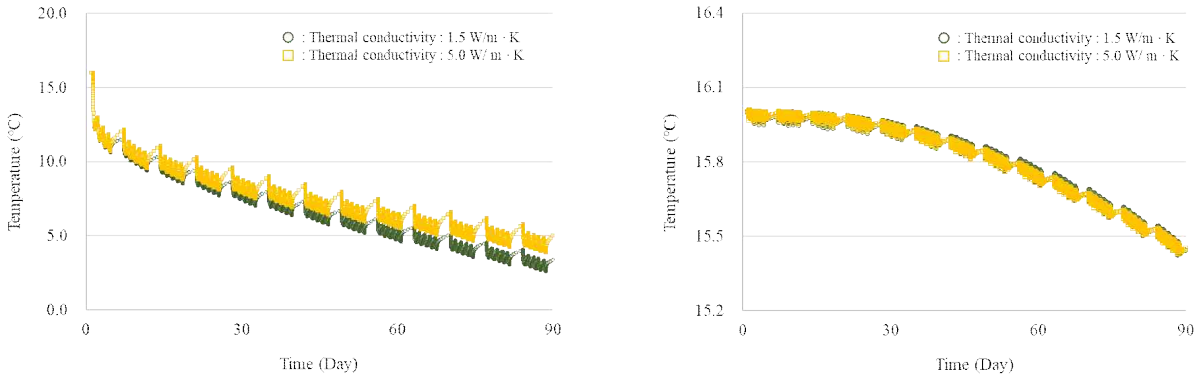
- 오차평균 방정식(MBE) 허용 범위 ±7%, Cv(RMSE) 허용범위 15%
- 취수정의 최대 MBE는 -1.6%, 주입정의 최대 MBE 3.7%
- 취수정의 Cv(RMSE)는 1.1%, 주입정의 Cv(RMSE)는 1.9%
- MBE와 Cv(RMSE)분석을 통해 허용범위 내에 있음을 확인하였음.

(6) 요인인자에 따른 열원온도 비교분석

(가) 지중열전도도에 따른 취수정 및 주입정 온도 검토

① 지중열전도도에 따른 주입정 및 취수정의 온도를 분석함.

② 지중열전도도의 범위는 화강암의 지중열전도도 범위(1.5 W/m·K ~ 5 W/m·K)를 적용함.



(a) 주입정 온도 (b) 취수정 온도

〈그림 3-31〉 지중열전도도에 따른 주입정 및 취수정 온도비교

③ 지중열전도도가 1.5 W/m·K 일 때, 주입정의 온도는 2.56℃이며 취수정의 온도는 15.42℃로 확인됨.

④ 지중열전도도가 5 W/m·K 일 때, 주입정의 온도는 3.86℃이며 취수정의 온도는 15.43℃로 확인됨.

⑤ 지중열전도도에 따라 주입정의 온도는 최대 1.3℃까지 차이를 나타냈지만, 열원으로 이용되는 취수정의 온도는 0.01℃ 차이로 나타남.

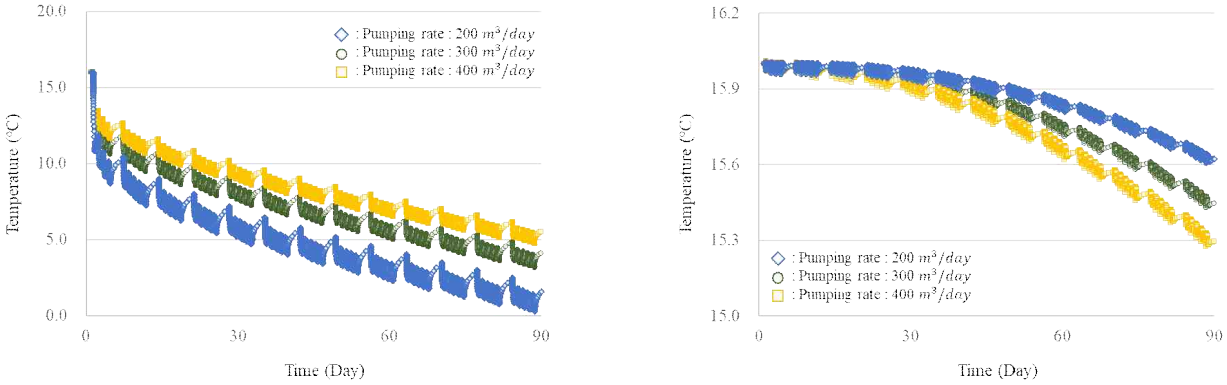
⑥ 지중열전도도에 따른 시스템 성능 차이는 크지 않음.

(나) 양수량에 따른 취수정 및 주입정 온도 검토

① ASHRAE에서 권장하는 GWHP 시스템의 최적유량은 0.018L/s·kW ~ 0.036L/s·kW로 확인됨.

② 수치 해석 모델은 72kW 용량의 시스템을 가정하여 설계하였으며, 그에 따른 최적 유량 범위는 112 m^3/d ~ 224 m^3/d임.

③ 시뮬레이션 조건은 최적유량 범위값인 200 m^3/d과 최적유량 범위보다 유량을 증가시킨 양수량 300 m^3/d, 400 m^3/d로 수행하였음.



(a) 주입정 온도 (b) 취수정 온도

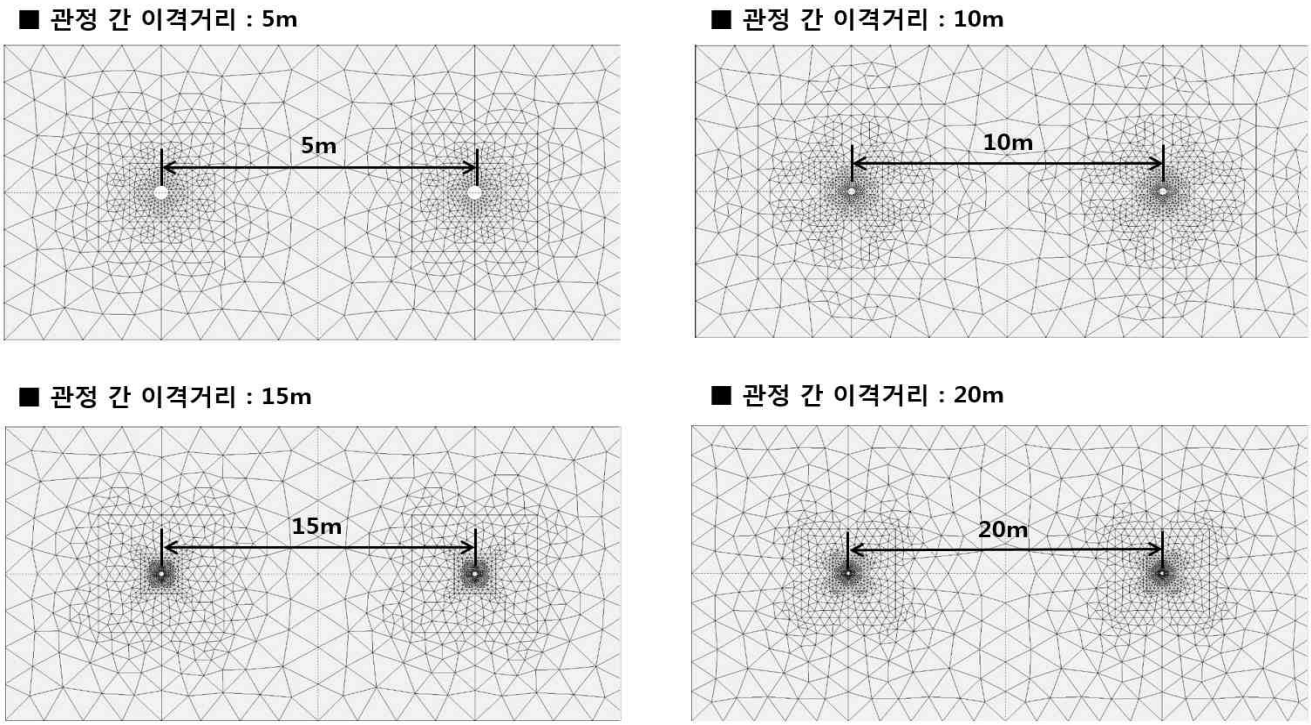
〈그림 3-32〉 양수량에 따른 주입정 및 취수정 온도비교

④ 양수량이 200 m^3/d 일 때, 열원온도의 최솟값은 15.6℃, 양수량 400 m^3/d 일 때, 열원온도 최솟값은 15.3℃로 양수량이 낮을수록 열원온도 측면에서 우수하지만, 차이는 미미함.

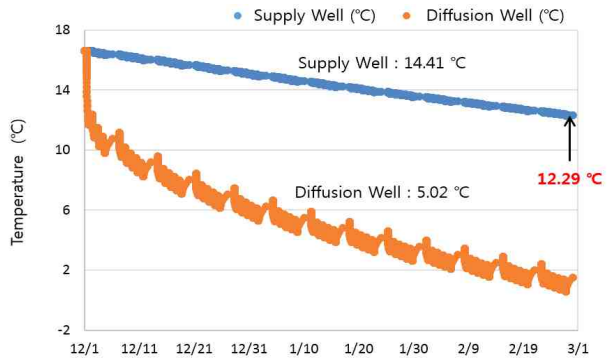
⑤ ASHRAE에서 규정하는 최적유량값은 열원온도가 일정하다는 가정하에서 히트펌프의 소비전력과 심정펌프의 소비전력이 최소가 되는 지점이며, 열원측면에서도 ASHRAE의 기준이 적합함을 확인함.

(다) 관정간 이격거리에 따른 성능분석

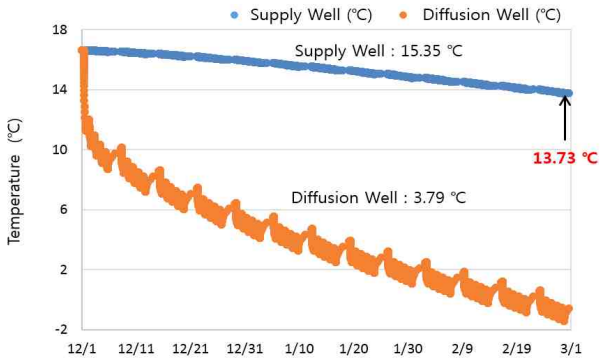
① 복수정 지열 시스템의 용량을 20RT, 30RT 및 40RT로 설정하였으며, 관정 간 이격거리는 4가지로 (5m, 10m, 15, 20m) 구분하여 Case Study를 진행하였음.



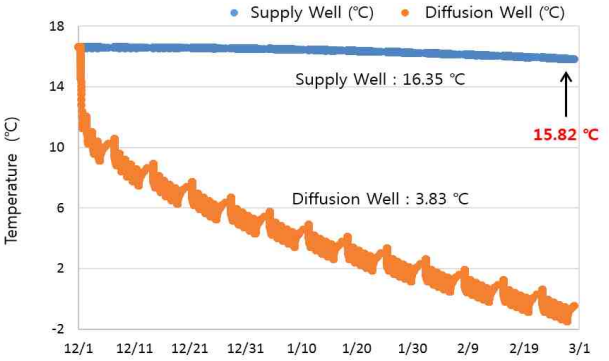
〈그림 3-33〉 이격거리 변화에 따른 해석 모델 개요



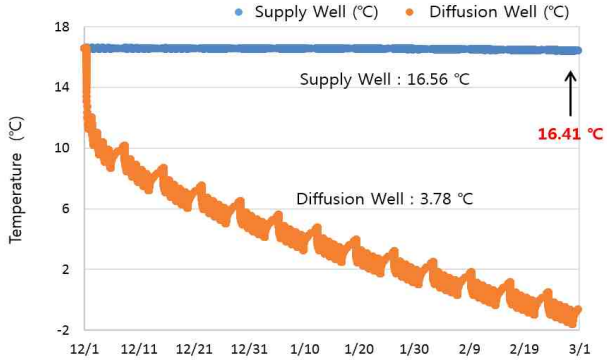
(a) 관정 간 이격거리 5m



(b) 관정 간 이격거리 10m



(c) 관정 간 이격거리 15m



(d) 관정 간 이격거리 20m

〈그림 3-34〉 관정 간 이격거리에 따른 취수정 및 주입정 온도변화 (40RT)

〈표 3-21〉 시스템 용량별 이격거리에 따른 EWT 영향도

	20RT			
	5m	10m	15m	20m
초기온도 (℃)	16.61	16.61	16.61	16.61
EWT (℃)	14.44	15.17	16.19	16.48
영향도	13%	8.7%	2.5%	0.8%

	30RT			
	5m	10m	15m	20m
초기온도 (℃)	16.61	16.61	16.61	16.61
EWT (℃)	13.36	14.44	16.01	16.45
영향도	19.6%	13.1%	3.6%	1%

	40RT			
	5m	10m	15m	20m
초기온도 (℃)	16.61	16.61	16.61	16.61
EWT (℃)	12.29	13.73	15.82	16.41
영향도	26%	17.3%	4.8%	1.2%

② 시스템 용량별 관정 간 이격거리에 따른 EWT 영향도

- 시스템 용량 20RT에서 관정 간 이격거리가 5m 일 때, 초기온도에서 EWT는 13% 감소하였으며, 이격거리가 15m 확보되었을 경우 EWT는 2.5% 감소하였음. 관정 간 이격거리가 증가할수록 영향도는 감소하였음.

- 시스템 용량 30RT와 40RT에서 관정 간 이격거리에 따른 EWT 영향도는 시스템 용량 20RT와 비슷하게 이격거리가 확보될수록 영향도가 감소하였다. 그러나 시스템 용량 40RT에서 이격거리 5m와 10m는 영향도는 각각 26%, 17.3%로 확인되었음.
- 관정간 이격거리가 다른 성능인자에 비해 열원온도 측면에서 높은 영향도를 가짐.
- 시스템 용량별 영향도를 회귀분석으로 실시하였을 때, 각 용량별 최소 이격거리는 다음과 같음. (20RT : 7.5m이상, 30RT : 9.5m이상, 40RT : 11m이상)

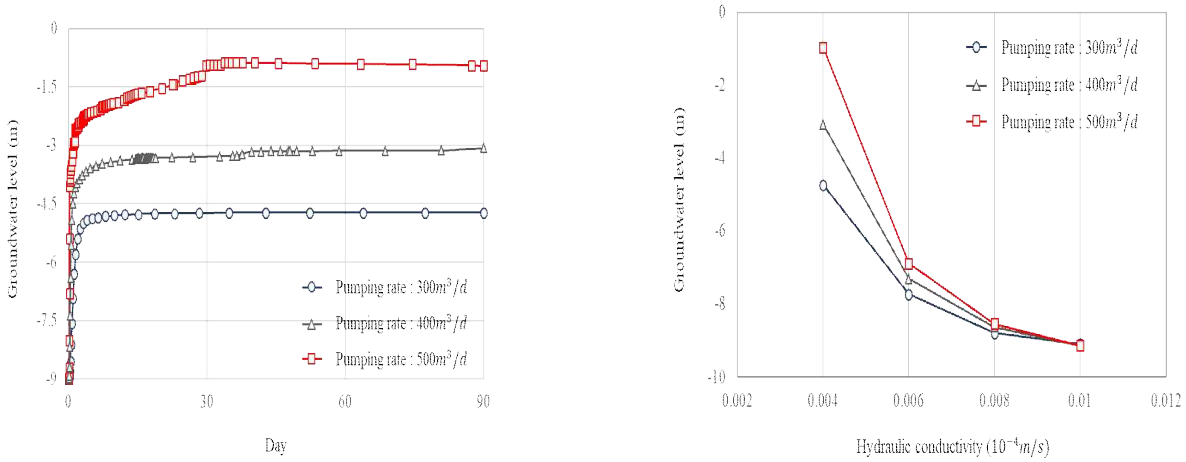
(7) 요인인자에 따른 지하수위 비교분석

(가) 지반 투수계수, 양수량, 페어링 설치유무에 따른 취수정 및 주입정의 지하수위를 분석함.

(나) 지하수위 분석은 연속운전 조건으로 수행함.

〈표 3-22〉 지하수위 분석 Case 조건

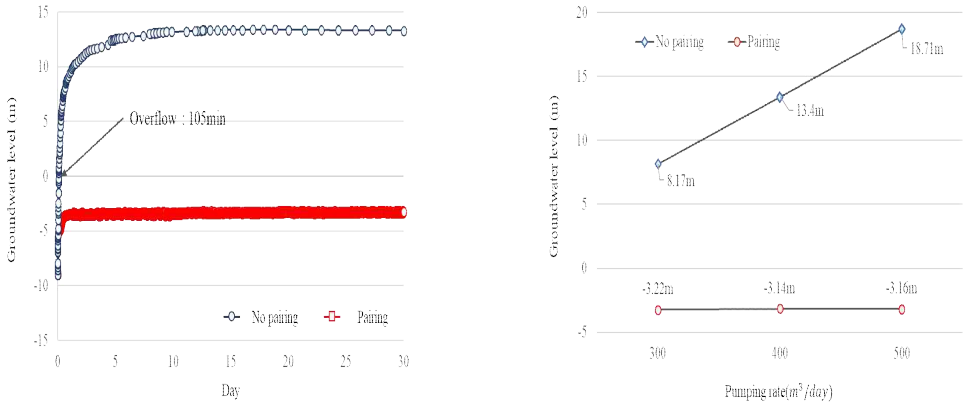
Case	투수계수 (10^{-4}m/s)	양수량 (m3/day)	페어링 설치
Case N1	0.008	300	Not installed
Case N2	0.008	400	Not installed
Case N3	0.008	500	Not installed
Case N4	0.006	300	Not installed
Case N5	0.006	400	Not installed
Case N6	0.006	500	Not installed
Case N7	0.004	300	Not installed
Case N8	0.004	400	Not installed
Case N9	0.004	500	Not installed
Case N10	0.002	300	Not installed
Case N11	0.002	400	Not installed
Case N12	0.002	500	Not installed
Case P10	0.002	300	Installed
Case P11	0.002	400	Installed
Case P12	0.002	500	Installed



(a) (b)

〈그림 3-35〉 양수량(a)과 투수계수(b)에 따른 지하수위 분석

(다) 주입정의 지하수위는 양수량보다 투수계수에 의한 영향이 크게 나타남.
(라) 투수계수가 감소할수록 양수량 변화에 따른 주입정 지하수위 상승이 크게 나타남.
(마) 지반 투수계수가 4 × 10^{-7}m/s 이상인 경우, 주입정의 넘침현상은 발생하지 않음.
(바) 지반 투수계수가 2 × 10^{-7}m/s 이하인 경우, 주입정의 넘침현상(Overflow)이 발생함.



(a) (b)

〈그림 3-36〉 페어링 유무에 따른 지하수위 분석 (a) 양수량 500m^3/d, (b) 양수량에 따른 지하수위 변화

(사) Overflow가 발생한 조건에서 페어링을 설치하여 시뮬레이션을 수행함.
(아) 페어링을 설치하지 않았을 때(투수계수 : 2 × 10^{-7}m/s, 양수량 500m^3/d), 지하수위는 최대 18.71m 까지 상승하였지만, 페어링 설치 후 −3.16m로 감소하였음.
(자) 지반투수계수가 2 × 10^{-7}m/s인 조건에서는 페어링 설치를 통해 주입정의 넘침현상을 방지할 수 있음.
(차) 페어링 설치시 취수정의 지하수위는 상승하여, 펌프 소비전력감소가 예상됨.

〈표 3-21〉 지하수위 분석결과

Case	Min. GWL of supply well (m)	Max. GWL of injection well (m)	Overflow
Case N1	−9.26	−8.71	Not occurred
Case N2	−9.35	−8.62	Not occurred
Case N3	−9.43	−8.52	Not occurred
Case N4	−10.21	−7.69	Not occurred
Case N5	−10.62	−7.27	Not occurred
Case N6	−11.04	−6.85	Not occurred
Case N7	−13.17	−4.73	Not occurred
Case N8	−14.57	−3.07	Not occurred
Case N9	−16.20	−0.86	Not occurred
Case N10	−15.24	8.17	Occurred
Case N11	−15.41	13.32	Occurred
Case N12	−15.50	18.71	Occurred
Case P10	−9.00	−3.22	Not occurred
Case P11	−9.00	−3.14	Not occurred
Case P12	−9.06	−3.16	Not occurred

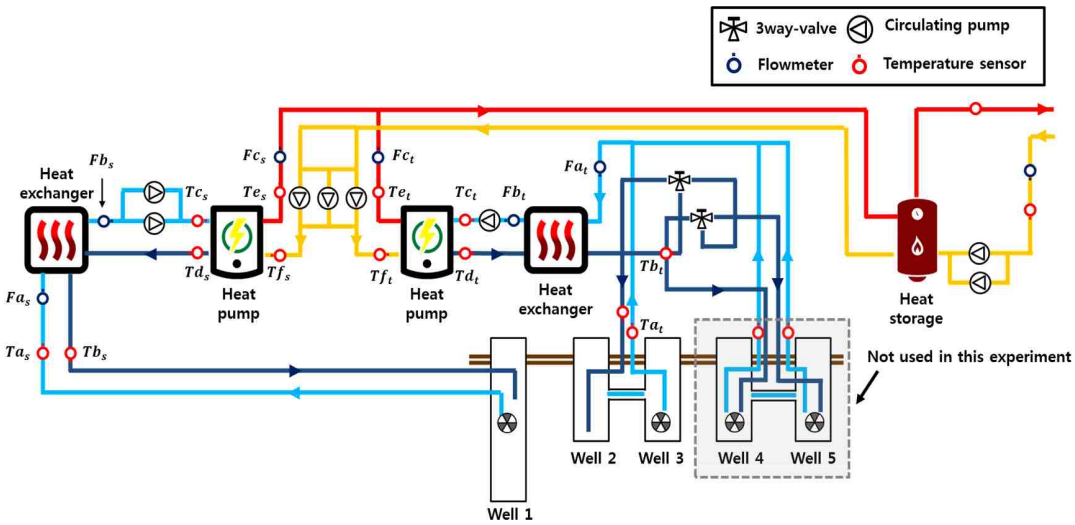
바. 에너지효율 증대 검증

(1) 실증실험을 통한 에너지효율 증대 검증

(가) SCW 지열 시스템과 도수통로(Spill-way)를 설치한 복수정 지열 시스템의 냉방성능 실험개요

① SCW 지열 시스템과 복수정 지열 시스템을 대상으로, 2017년 9월 10이부터 9월 28일까지 냉방 운전을 실시하고, 열원측 입·출구 온도, 히트펌프 입·출구 온도, 부하측 입·출구 온도, 유량, 히트펌프 및 순환/심정 펌프 소비전력, 지하수위를 측정함. 〈그림 3-37〉

② 두 시스템의 유량 조건, 운전시간(08:00~22:00, 토요일을 제외한 주중과 일요일 운전실시), 부하량은 동일하게 설정하였음.



〈그림 3-37〉 실증실험 개요도

③ 히트펌프 냉방성능계수는 수식(1)을 이용하였으며, 시스템 전체(히트펌프+순환펌프+심정펌프) 냉방성능계수 수식(2)를 이용하여 산출하였음. 한편, 부하량은 수식(3)을 이용하여 산출하였음.

$$H.COP = \frac{\sum Q_{load}}{\sum W_{hp}} \quad (1)$$

$$S.COP = \frac{\sum Q_{load}}{\sum W_{hp} + \sum W_{sp} + \sum W_{cp1} + \sum W_{cp2}} \quad (2)$$

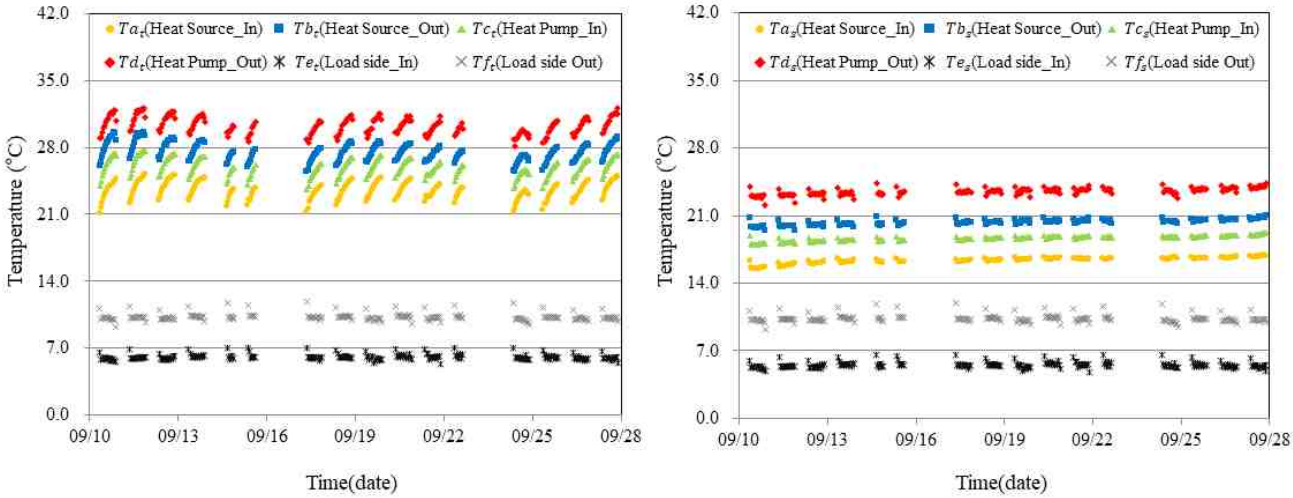
$$Q_{load} = m_{load} \times c \times \Delta T_{load} \quad (3)$$

c	: 물의 비열 [kJ/kg·K]	W_{sp}	:심정펌프 소비전력 [kW]
H.COP	: 히트펌프 냉방성능 계수	W_{hp}	: 히트펌프 소비전력 [kW]
m_{load}	: 부하 순환수 유량 [kg/s]	W_{cp1}	: 열원측 순환펌프 소비전력 [kW]
Q_{load}	: 히트펌프의 열교환 성능 [kW]	W_{cp2}	: 부하측 순환펌프 소비전력 [kW]
S.COP	: 시스템 전체 냉방성능 계수		

(나) SCW 지열 시스템과 도수통로를 설치한 복수정 지열 시스템의 냉방성능 결과 비교

① 지하수와 순환수 온도 및 유량 비교분석

- SCW 지열 시스템과 복수정 지열 시스템의 Ta(심정측에서 열교환기로 들어가는 온도)와 Tc(열교환기에서 열교환 후 히트펌프로 들어가는 입수온도)의 평균 온도 차이는 각각 7.1℃, 7.2℃로 확인되었음.
- SCW 지열 시스템은 복수정 지열 시스템 보다 심도가 깊기 때문에 초기 지하수온이 높으며, 단일 관정에서 취수 및 주입으로 인해 열 간섭이 발생한 것으로 사료됨.

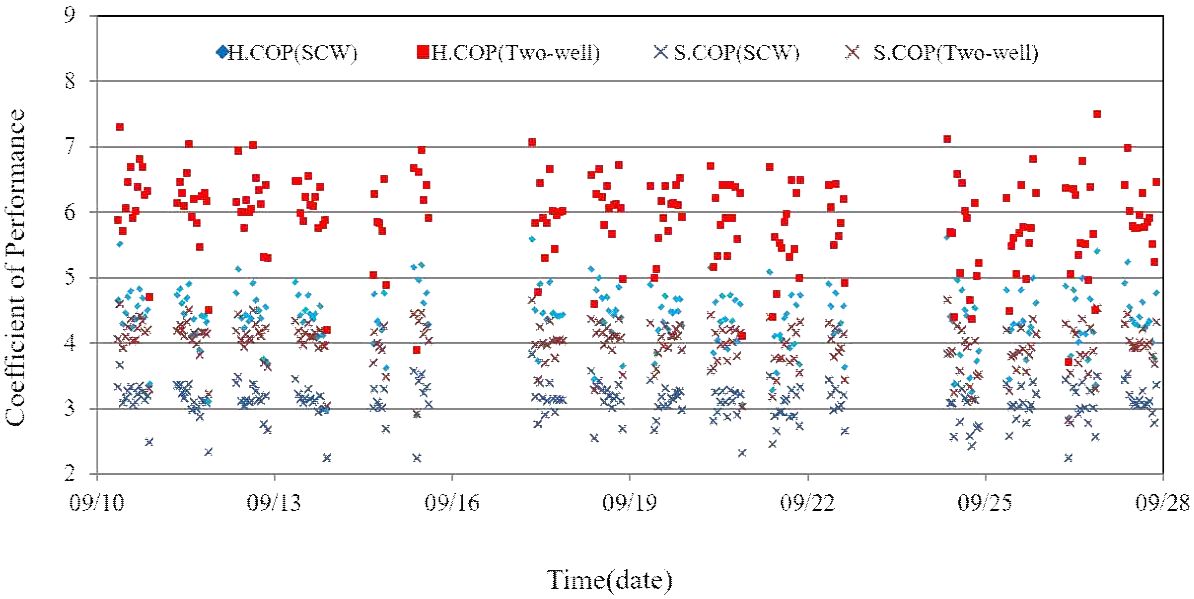


(a) SCW System (b) Two-well Pairing System

〈그림 3-38〉 열원측, 히트펌프, 부하측 온도

② 히트펌프 및 시스템 전체 냉방성능 분석

- SCW 지열 시스템의 시간 평균 부하량은 20.8kW, 복수정 페어링 지열 시스템은 23.8kW로 확인되었음.
- 복수정 페어링 지열 시스템의 열원온도가 SCW 지열 시스템의 열원온도보다 낮아 동일 부하 조건임에도 불구하고 부하량의 차이를 나타내었음.
- SCW system H.COP : 4.8 / Two-well pairing system H.COP : 6.5
- SCW system S.COP : 3.4 / Two-well pairing system S.COP : 4.3
- 시스템 전체 COP는 복수정 페어링 지열 시스템이 SCW 지열 시스템보다 29%는 높게 확인되었음.



〈그림 3-39〉 SCW 지열 시스템과 복수정 지열 시스템의 히트펌프 및 시스템 전체 COP

③ SCW 지열 시스템과 도수통로를 설치한 복수정 지열 시스템의 난방성능 결과 비교

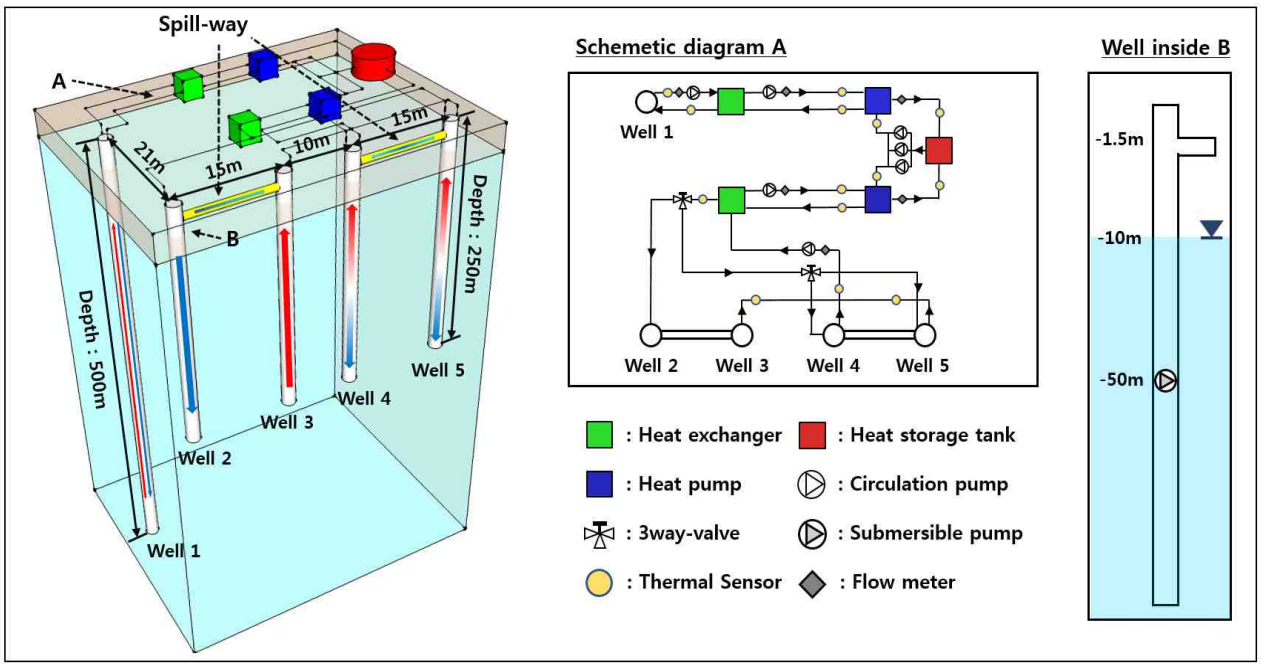
- SCW 지열 시스템(Well 1)과 도수통로를 설치한 복수정 지열 시스템(Well 2 ~ Well 5)을 대상으로, 실험기간(2017년 10월 1일 ~ 2018년 1월 24일) 동안 3가지 운전방법을 이용하여 지하수위 및 지하수 온도, 시스템 성능을 비교분석 하였음.

- 도수통로를 설치한 복수정 지열 시스템의 운전에 따른 지하수위 변화를 확인하기 위해 심정내부에 다이버 장치를 설치하여 1분 간격으로 데이터를 측정하였으며, 지하수열 온도, 유량 및 소비전력을 데이터 로거를 이용하여 1분 단위로 기록하였음.

〈표 3-22〉 시스템 운전방법

System	Mode	Supply Well	Diffusion Well	Operation Period
SCW	Mode 1	Well 1	Well 1	2017.10.01. ~ 2018.01.24
Two-well Pairing	Mode 2	Well 3	Well 2	2017.10.01. ~ 2017.11.31
	Mode 3	Well 4	Well 5	2018.01.01. ~ 2018.01.30
	Mode 4	Well 5	Well 4	2017.12.01. ~ 2017.12.31

- Mode 1은 SCW 지열 시스템의 운전방법으로 Well 1 우물정에서 지하수의 취수와 주입을 모두 수행하며, Mode 2는 Well 3 우물정에서 취수하고 Well 2에서 주입함. 또한, Mode 3과 4는 가변식 운전을 통해 Well 4와 Well 5가 취수와 주입 역할을 모두 수행할 수 있는 운전방법을 이용함.



〈그림 3-40〉 실증실험 장비 개요

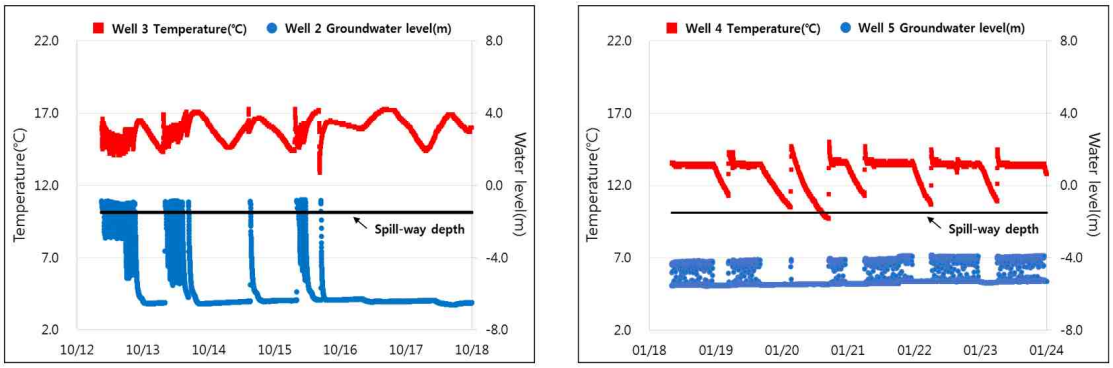
- 도수통로를 이용한 지하수 연동제어에 따른 지하수위 및 지하수 온도

• 온도측정은 관정에서 판형열교환기로 이동하는 배관 내부에서 실시함. 시스템의 비가동시에는 지하수 온도가 아닌 배관 내부의 공기온도가 측정되었음.

• 시스템 가동시 Well 2의 지하수위는 페어링 심도 (-1.5 m)를 넘어 최대 -0.8 m까지 상승하여, 페어링을 통한 유동이 발생함.

• 도수통로를 통한 주입정의 지하수 이동시 취수정의 온도에 영향을 주어 시스템 성능이 다소 감소할 것으로 예측됨.

• 하지만, 페어링을 통한 지하수 제어효과로 운전제한 문제는 발생하지 않았음.

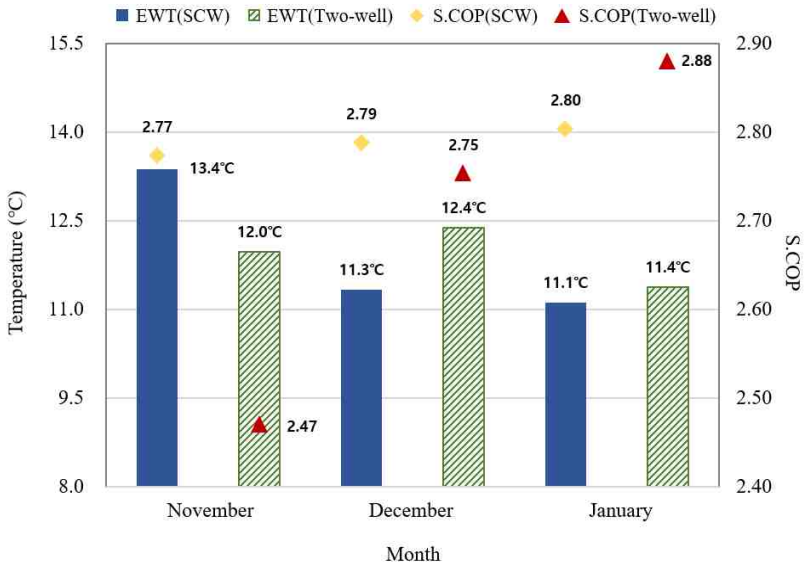


(a) Mode 2 운전방법 (b) Mode 3 운전방법

〈그림 3-41〉 지하수 온도분포 및 지하수위

- SCW 지열 시스템과 도수통로를 설치한 복수정 지열 시스템의 난방성능 결과 비교

- S.COP는 11월과 12월에는 SCW 지열 시스템이 복수정 페어링 지열 시스템보다 높게 나타남.
- 1월에는 복수정 페어링 지열 시스템이 높게 나타났으며,. 측정기간 전체의 S.COP 평균은 SCW 지열 시스템이 2.79, 복수정 페어링 지열 시스템이 2.70으로 확인되었음.
- 1월의 부하율이 11월보다 높아 보다 효율적인 운전을 실시한 것으로 판단됨.
- 11월의 S.COP는 SCW 지열 시스템이 복수정 페어링 지열 시스템보다 0.30 높게 나타남.
- 하지만, 1월 S.COP는 복수정 페어링 지열 시스템이 SCW 지열 시스템보다 0.08 높게 나타났으며, 이는 S.COP가 동일 유량조건에서 EWT의 영향을 받은 것으로 판단됨.
- 11월부터 1월까지의 S.COP 전체평균은 복수정 페어링 지열 시스템이 2.70, SCW 지열 시스템이 2.79로 SCW 지열 시스템이 0.09 높음.
- 하지만, 냉방기간에는 관정의 심도가 깊은 SCW 지열 시스템의 성능이 복수정 페어링 지열 시스템에 비해 불리할 것으로 사료됨.



〈그림 3-42〉 실험기간 동안의 월 평균 EWT 및 시스템 COP

(2) 에너지 효율 증대를 위한 다중관정 지열 시스템의 설계 및 시공 가이드라인 작성

(가) 다중관정 이용 에너지 지열정 페어링 및 지하수 연동제어 시스템 최적 설계안 도출 및 설계기술 매뉴얼 제시

① 시스템 도입지의 지반 수리지질학조건 등에 기반한 최적설계법 제시함.

② 개방형 지열 시스템의 국내외 설계매뉴얼 검토를 실시함.

③ 연구성과(실증실험 및 시뮬레이션)를 기반하여 최적 이격거리, 적정 양수량, 페어링 설치 조건과 같은 최적설계 사양을 도출함.

사. 기술의 보급 및 홍보

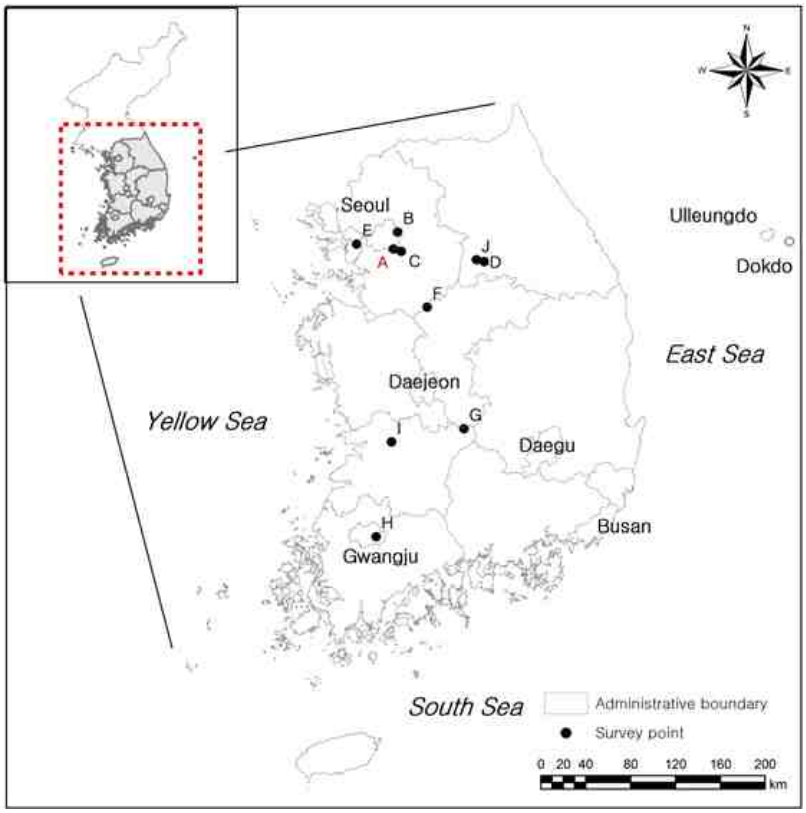
(1) 국내 지열시스템 효율저하 사례조사

(가) 개 요

지열설비 설치초기 수리지질학적 특성 및 지하수 산출능력을 충분히 고려하지 않아 발생되는 효율저하 문제와 유지관리 어려움으로 인해 설치기피대상이 되고 있음. 이러한 문제점이 도출되고 있음에도 불구하고 에너지효율저하 사례조사 및 원인분석이 거의 없는 실정으로 이 연구에서는 개방형 지열시스템의 문제점을 효율저하 증상별로 조사 및 분류하고 이에 따른 원인을 분석하였음.

지열시스템을 설치·이용하는 시설 중 효율저하가 발생한 10개 시설을 선정하여 2017년 1월 ~ 4월까지 현장조사를 실시하였음.

일련번호	시설위치	일련번호	시설위치
A	서울 서초구 내곡동	F	충북 진천군 광혜원면 광혜원리
B	경기 구리시 교문동	G	전북 무주군 설천면 소천리
C	경기 성남시 중원구 상대원동	H	광주 동구 서석동
D	강원 원주시 행구동	I	전북 완주군 삼례읍 삼례리
E	인천 부평구 부평동	J	강원 원주시 우산동

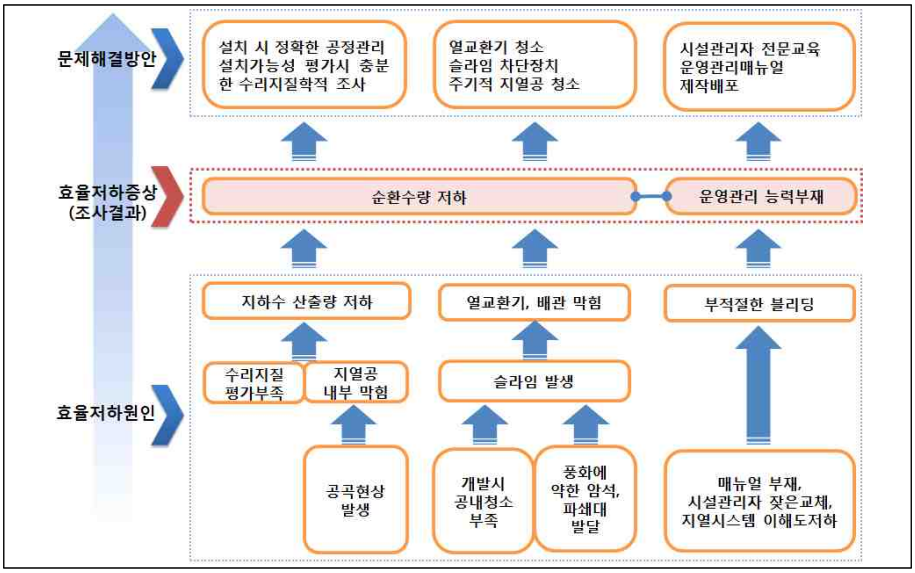


〈그림 3-43〉 연구지역 및 조사시설 위치도

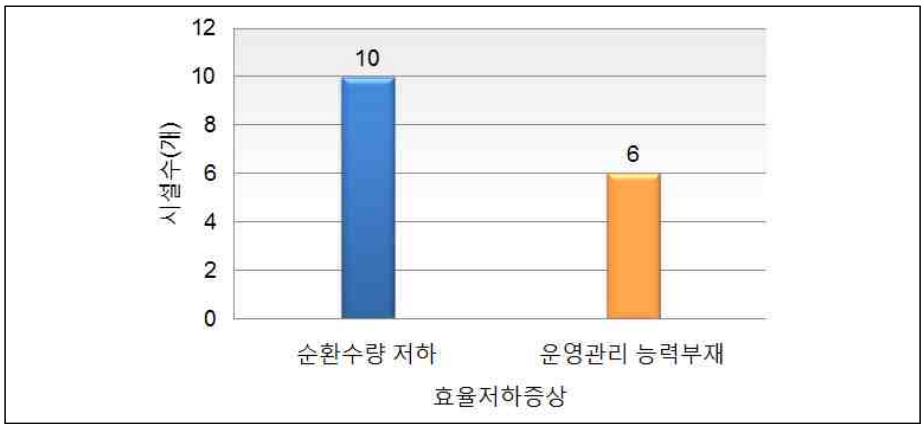
(나) 연구 결과

국내 개방형 지열시스템의 효율저하가 발생한 10개 시설을 현장방문 및 조사한 결과 대표적인 효율저하 증상은 순환수량저하, 운영관리능력 부재 2가지로 조사하였음.

증상에 따른 원인은 지하수 산출량 저하, 열교환기·배관막힘, 부적절한 블리딩으로 분류하였음.



〈그림 3-44〉 효율저하 원인, 증상 및 문제해결방안 모식도



〈그림 3-45〉 효율저하증상 조사결과(복수응답)

효율저하증상 조사결과 순환수량 저하는 모든 조사시설에서 나타났고 운영관리 능력부재는 총 6개 시설에서 조사되었고, 효율저하 증상에 따른 원인을 아래의 3가지로 정리·분석하였음.

① 지하수 산출량 저하에 의한 순환수량 저하

순환수량 저하는 지열시스템 설치지역의 암반특성과 깊이 관련이 있는 지하수 산출량 저하 현상에 있음. 지하수 산출량 저하 현상은 충분하지 못한 수리지질학적 조사 및 평가가 이루어지게 되면 최초 지열시스템 설계 시 보다 지하수 산출량이 줄어들어 효율이 떨어질 수 있음(김남주 외, 2012).

또한, 설치지역의 암반이 풍화에 약하거나 파쇄대가 잘 발달된 암반 일 경우 공벽이 붕괴되기 쉬워 지열공 내부를 막는 경우가 있었고, 지열공 개발 시 충분한 슬라임 제거를 못하였을 경우 지열공 내부를 막아 지하수 산출량이 줄어드는 경우도 있었음.

또 다른 원인으로는 지열공 굴착 시 수직도를 유지하지 못해 발생하는 공곡현상으로 인한 공무너짐이 발생 하는 경우도 확인하였음.

② 열교환기 및 배관 막힘으로 인한 순환수량 저하

지하수에서 유입되는 슬라임으로 인한 열교환기 및 배관 막힘현상은 지열공 개발 시 공내청소가 충분히 되어있지 않을 경우와 풍화에 약한 암반 또는 파쇄대가 잘 발달하여 미립의 암편이나 광물들이 떨어져 나와 발생함(김남주 외, 2012).

이러한 슬라임을 많이 내포한 지하수가 지열시스템을 순환하게 되면 열교환기와 배관을 막고, 이로 인해 순환수량을 줄어들어든 현상을 일으켜 효율저하 원인이 되었음.



〈그림 3-46〉 판형 열교환기

또한, 조사시설 중 'A시설'의 경우, 심정펌프교체 3회, 열교환기 청소 2회 등 슬라임에 의한 것으로 추정되는 정비내용이 조사되었음.

이는 효율저하 원인인 열교환기 및 배관 막힘이 빈번히 일어나는 것을 시사하며, 효율이 떨어질 경우 제일 먼저 확인을 해야 할 것임.

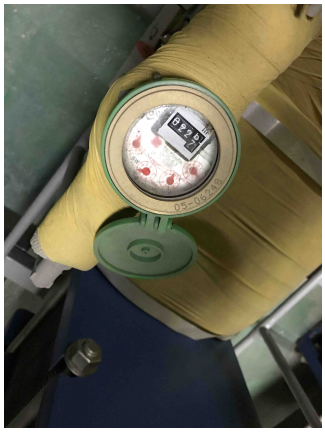
〈표 3-23〉'A시설'의 수리현황

정비 일시	정비 내역
2011.03.31	심정펌프교체
2011.12.01	심정펌프교체
2013.03.28	심정펌프교체
2014.04.09	열교환기 세관(청소)작업
2016.11.09	열교환기 세관(청소)작업

③ 운영관리 능력부재로 인한 부적절한 블리딩(Bleeding)

한국의 「신·재생에너지 설비의 지원 등에 관한 지침」에 따르면 "블리딩양은 순환수량 또는 지하수 영향조사의 1일 적정 취수량 중 작은 양의 20% 이내로 해야 한다."고 기준이 제시되어 있음(한국에너지공단 신재생에너지센터, 2017).

블리딩 조절이 효율과 밀접한 관계가 있는 요소임에도 불구하고 조사결과 기준치를 초과하는 블리딩으로 인해 순환수량저하로 이어지는 사례가 조사 되었음. 블리딩을 적절히 하지 못한 시설의 경우 대부분 지열시스템 사양서 및 설비작동매뉴얼이 미흡하거나 갖춰지지 않았고 이로인해 지열시스템 관리자 변경 시 업무인수·인계가 정상적으로 이루어지지 않은 것으로 조사되었음.

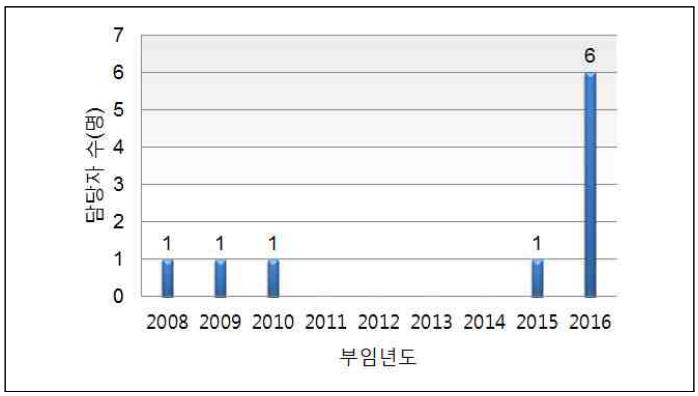


(a) 블리딩 유량계



(b) 블리딩 사진

〈그림 3-47〉 블리딩 관련 현장사진



〈그림3-48〉 지열시스템 관리자 부임현황

조사한 시설들을 지열시스템 설치년도 별로 살펴보면, 설치년도 10년 이상된 시설이 총 7개 시설로써 대부분 국내 지열에너지 이용 및 보급이 본격화 된 2004년(서운종과 김도규, 2008) 이후에 설치된 것으로 조사되었음.

이는 시설 노후화가 진행되고 있다는 방증으로 정기적인 시설점검 및 정비가 적절히 이루어져야 할 것임.



〈그림 3-49〉 설치년도별 시설수 현황

(다) 종합 분석

종합적으로 개방형 지열시스템의 효율저하 원인을 분석하였을때 지하수산출량 저하에 의한 순환수량 저하, 열교환기 및 배관 막힘으로 인한 순환수량 저하, 운영관리 능력 부재로 인한 부적절한 블리딩 이렇게 총 3가지가 대표적이었음.

지하수 산출량 저하에 의한 순환수량 저하는 부적절한 수리지질학적 조사 및 평가와 내부지열공 막힘 두가지 세부원인으로 분류됨.

부적절한 수리지질학적 조사 및 평가로 인한 지하수 산출량 저하는 설치 가능성 평가 시 충분한 수리지질학적인 조사를 통해 해결 가능 할 것이며, 지열공 내부 막힘에 의한 지하수 산출량 저하는 지열시스템 설치 초기 정확한 공정관리와 시공윤리 확립을 통해 공곡현상 최소화를 통해 해결할 수 있음(김남주 외, 2012).

열교환기 및 배관 막힘에 의한 순환수량 저하는 지열공으로부터 유입되는 슬라임, 암편, 광물 등의 유입을 차단할 수 있는 장치를 마련하거나 주기적인 지열공 및 열교환기 청소를 통해 해결가능함(김남주 외, 2012).

운영관리능력 부족으로 인한 부적절한 블리딩은 시설관리자의 전문교육과 운영관리 매뉴얼 제작 및 배포, 적절한 사후관리와 체계적인 운영관리를 통해 해결 가능 할 것임.

(2) 국내 지열시스템 이용실태조사 및 DB구축

(가) 개 요

지열시스템의 체계적인 관리를 위해 2017년 7월 ~ 2018년 3월까지 국내 설치·이용 중인 지열시스템 중 52개 시설을 현장조사하여 “국내의 지열시스템 이용실태조사 데이터베이스를 구축”하였음.

연구방법은 지열시스템 이용실태조사를 위한 체크리스트 제작, 지열시스템 설치·이용시설 현장방문 및 청문조사(설문조사), 지열시스템 기본현황 및 그간 이용현황 조사, 지열시스템 설치·이용 현황조사를 통한 데이터(Data Base)구축으로 이루어졌음.



(a) 설문조사 (b) 각종도서 조사(영향조사 등)

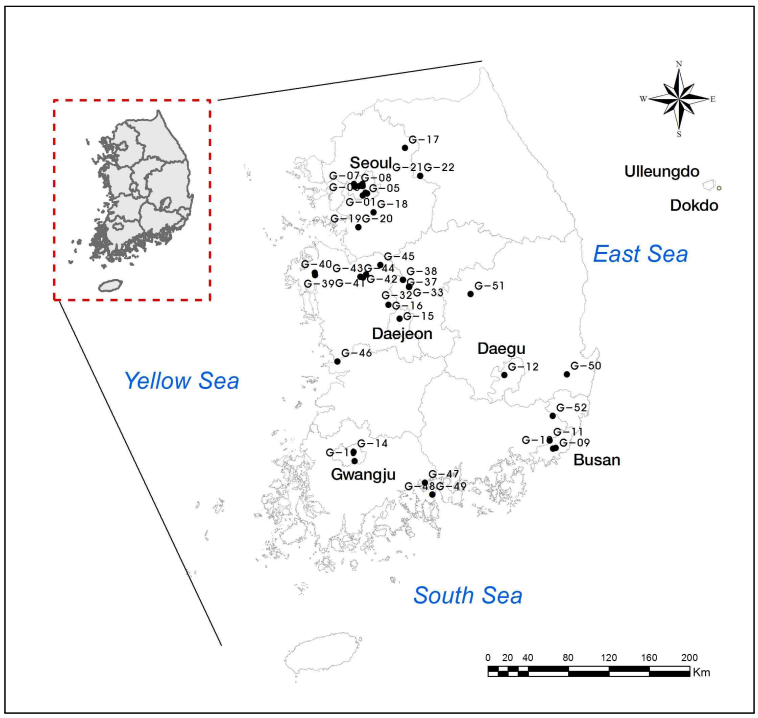
(c) 현장조사(히트펌프) (d) 현장조사(판형열교환기)

(e) 현장조사(블리딩) (f) 현장조사(지하수 관정)

〈그림 3-50〉 설문조사 및 현장조사

〈표 3-24〉 국내 지열시스템 조사시설 현황

일련번호	시설위치	일련번호	시설위치
G-01	서울 강남구 역삼로	G-27	충북 청주시 청원구 안덕벌로
G-02	서울 마포구 월드컵로	G-28	충북 청주시 청원구 대성로
G-03	서울 마포구 월드컵북로	G-29	충북 청주시 청원구 대성로
G-04	서울 서대문구 이화여대길	G-30	충북 청주시 청원구 대성로
G-05	서울 서초구 고무래로	G-31	충북 청주시 청원구 대성로
G-06	서울 서초구 남부순환로	G-32	충북 청주시 청원구 안덕벌로
G-07	서울 종로구 삼청로	G-33	충북 청주시 청원구 율량동
G-08	서울 중구 소공로	G-34	충북 청주시 오창읍 연구단지로
G-09	부산 동래구 명륜로	G-35	충북 청주시 오창읍 연구단지로
G-10	부산 동래구 사직로	G-36	충북 청주시 오창읍 연구단지로
G-11	부산 북구 효열로	G-37	충북 청주시 오창읍 연구단지로
G-12	대구 서구 평리로	G-38	충북 청주시 오창읍 연구단지로
G-13	광주 남구 덕남길	G-39	충남 서산시 남부순환로
G-14	광주 북구 하서로	G-40	충남 서산시 부춘공원1로
G-15	대전시 유성구 엑스포로	G-41	충남 아산시 남부로
G-16	세종시 다솜3로	G-42	충남 아산시 무궁화로
G-17	경기 가평군 북면 백둔로	G-43	충남 아산시 신창면 황산길
G-18	경기 용인시 수지구 포은대로	G-44	충남 아산시 신창면 황산길
G-19	경기 화성시 봉담읍 왕림1길	G-45	충남 천안시 성거읍 돌다리길
G-20	경기 화성시 봉담읍 왕림1길	G-46	전북 군산시 군산창길
G-21	강원 홍천군 서면 중방대리	G-47	전남 광양시 항만대로
G-22	강원 홍천군 서면 중방대리	G-48	전남 여수시 해양경찰로
G-23	충북 청주시 청원구 대성로	G-49	전남 여수시 해양경찰로
G-24	충북 청주시 청원구 대성로	G-50	경북 경주시 전천읍 신경주역로
G-25	충북 청주시 청원구 안덕벌로	G-51	경북 문경시 매봉로
G-26	충북 청주시 청원구 안덕벌로	G-52	경남 양산시 하북면 통도사로



〈그림 3-51〉 연구지역 및 조사시설 위치도

(나) 연구 결과

국내 지열시스템을 설치·운영하고 있는 시설 중 52개 시설을 현장방문 및 조사하여 데이터(Data Base)구축을 실시하였고 또한, 지열시스템 현황부문, 지중설비 부문, 기계설비 부문, 부하설비 부문 등으로 나누어 정리·분석 하였음. 한편, 본 연구에서는 국내 전체 지열시스템 시설을 전수조사 한 것이 아니므로 국내 지열시스템 관리현황을 일반화하기에는 다소 어려움이 있을 것임. 그러나 향후 지열시스템 설치·운영 및 기술개선을 하는 데 있어 일부 참고자료로써 가치가 있을 것으로 판단됨.

① 지열시스템 일반현황

㉮ 시설유형 및 분포현황

국내에 보급되고 있는 지열 냉·난방 에너지의 경우 지중열교환기의 배열형태에 따라 크게 개방형과 밀폐형으로 구분할 수 있음. 본 연구에서 조사한 시설 52개소 지열시스템에 대해 시설유형별로 분류하고 전국 분포현황을 살펴보았음.

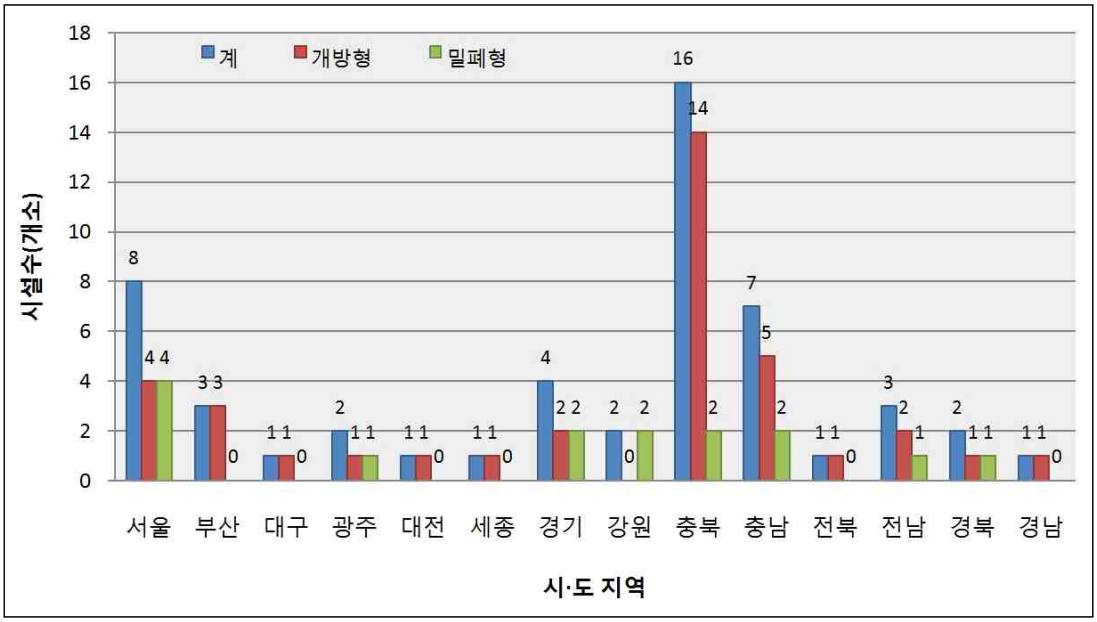
지열시스템 시설유형별로는 총 52개소의 조사시설 중 약 71%인 37개소가 개방형인 것으로 조사되었고 밀폐형은 29%인 15개소를 이용하고 있는 것으로 조사되었음.

전국 분포현황을 시·도단위로 살펴보면 충북지역에서 이용 중인 시설이 16개소로 전체 조사시설의 약 31%가 분포하는 것으로 나타났고 그 다음으로는 서울지역 8개소(15%), 충남지역 7개소(13%), 경기지역 4개소(8%) 순으로 분포하는 것으로 나타났으며 대구지역, 대전지역, 세종지역, 전북지역, 경남지역이 각각 1개소씩 이용하는 것으로 조사되었음.

이 중 개방형 지열시스템은 조사시설 전체 37개소 중 14개소(38%)가 충북지역에 가장 많이 분포하였고, 밀폐형 지열시스템은 조사시설 전체 15개소 중 4개소(27%)가 서울지역에 가장 많이 분포하는 것으로 나타났음.

〈표 3-25〉 지열시스템 시설유형별 분포현황

구분	계	비 율	시설유형			
			개방형		밀폐형	
			시설수(개소)	비 율	시설수(개소)	비 율
계	52	100%	37	100%	15	100%
비율	100%	-	71%	-	29%	-
서울	8	15%	4	11%	4	27%
부산	3	6%	3	8%	0	0%
대구	1	2%	1	3%	0	0%
광주	2	4%	1	3%	1	7%
대전	1	2%	1	3%	0	0%
세종	1	2%	1	3%	0	0%
경기	4	8%	2	5%	2	13%
강원	2	4%	0	0%	2	13%
충북	16	31%	14	38%	2	13%
충남	7	13%	5	14%	2	13%
전북	1	2%	1	3%	0	0%
전남	3	6%	2	5%	1	7%
경북	2	4%	1	3%	1	7%
경남	1	2%	1	3%	0	0%



〈그림 3-52〉 지열시스템 시설유형별 분포현황

㉰ 개발년도 및 관리자 부임년도 현황

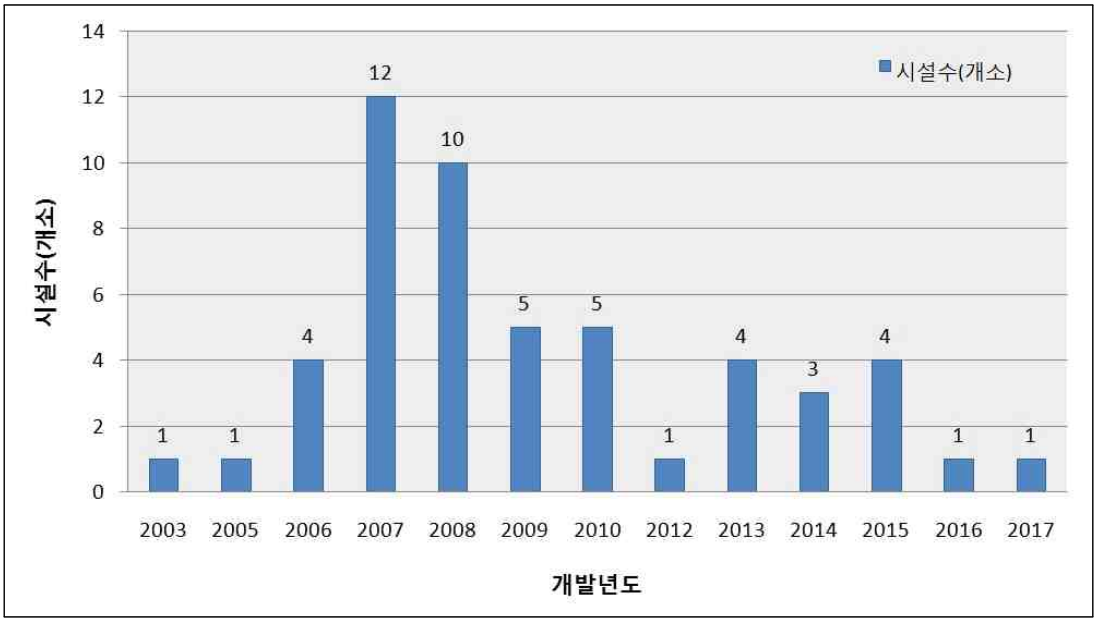
조사시설 52개소의 지열시스템 개발년도를 살펴보면 2003년부터 2007년에 개발되어 이용 중인 지열시스템은 전체 조사시설의 약 35%인 18개소 인 것으로 조사되었고 2008년부터 2012년에 개발되어 이용 중인 시설은 21개소(약 40%), 2013년부터 2017년에 개발되어 이용 중인 시설은 13개소(약 25%)인 것으로 조사되었음.

2007년 이전에 개발된 즉, 10년 이상 이용 중인 시설이 전체 조사시설의 약 35% 수준인 18개소의 경우에는 지중설비, 기계설비 등의 노후화가 진행 되어 관리측면에서 매우 어려움이 있을 것으로 판단됨.

〈표 3-26〉 지열시스템 개발년도 현황

개발년도	시설수(개소)	비 율
계	52	100%
2003년~2007년	18	35%
2008년~2012년	21	40%
2013년~2017년	13	25%

한편, 각 년도별로 개발추이를 살펴보면, 2007년에 12개소로 가장 많이 개발된 것으로 조사되었고 그 다음으로는 2008년도에 10개소가 개발되어 국내 지열에너지 이용과 설비보급이 본격화 된 시기(2004년)와 맞물려 적극 개발된 것으로 추정됨.



〈그림 3-53〉 지열시스템 개발년도 현황

지열시스템 관리자 부임년도를 살펴보면 가장 최근 5년인 2013년~2017년에 부임한 관리자가 전체 시설의 약 42%인 22명이 부임 한 것으로 조사되었고 그 다음으로 2002년에 15명(29%), 2008년~2012년에 9명(17%), 2003년~2007년에 5명(10%)순이었음.
지열시스템의 안정적 운영과 유지관리를 위해서는 전문적인 지열시스템 관리자의 역할은 매우 중요하다고 볼 수 있음.

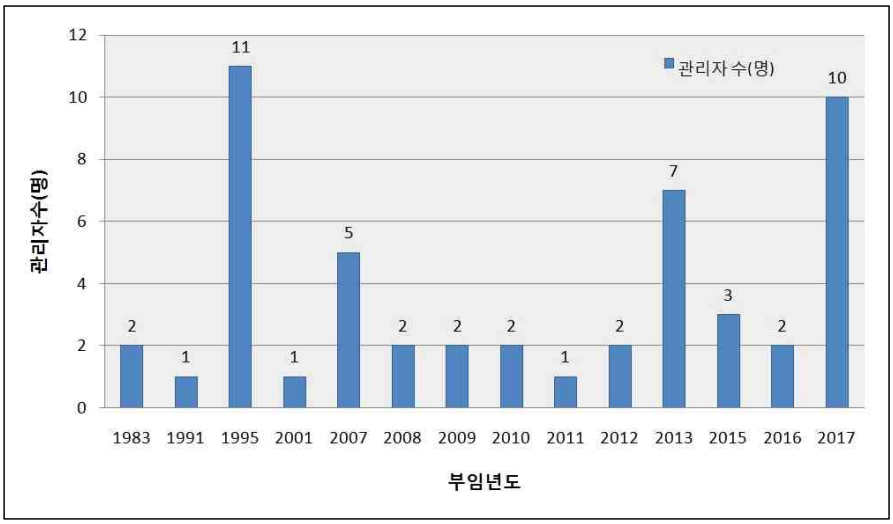


〈그림 3-54〉 지열시스템 관리자 설문사진

그러나 조사결과 대부분의 지열시스템 관리자는 전기관리자, 기계관리자 등 지열시스템의 전문성을 가지지 못한 관리자가 대부분이었고 새로운 관리자가 오더라도 업무 인수/인계가 제대로 이루어지지 않아 지열시스템 현황파악이 되지 않고 있는 상황이었음.
또한, A/S업체 등의 부재로 인해 기기 고장 등이 발생하더라도 고장 원인과 고장 지점 등을 정확히 인지하지 못하여 신속한 대응이 어려운 실정이었음.

〈표 3-27〉 지열시스템 관리자 부임년도 현황

부임년도	관리자 수(명)	비율
계	52	100%
2002년 이전	15	29%
2003년~2007년	5	10%
2008년~2012년	9	17%
2013년~2017년	22	42%
미응답	1	2%



〈그림 3-55〉 지열시스템 관리자 부임년도 현황

㉱ 개발공수 및 개발심도 현황

지열시스템 설치시 지열공 개발공수 현황을 살펴보면 1개소의 지열시스템 설치시 1공~4공을 개발한 시설이 전체 52개시설의 약 33%인 17개소로 가장 많이 분포하는 것으로 나타났고 그 다음으로 5공~8공을 개발한 시설이 16개소(31%)인 것으로 나타났으며, 9공~12공, 21공~30공을 개발한 시설은 각각 4개소인 것으로 나타났음.

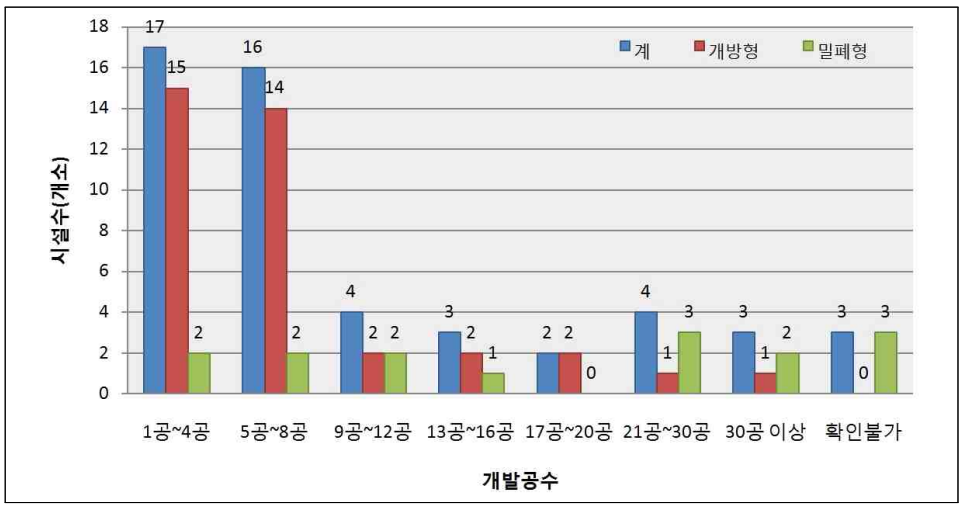
시설유형별로는 개방형 지열시스템의 1공~4공을 개발한 시설이 15개소(41%)로 가장 많았으나 밀폐형 지열시스템은 21공~30공을 개발한 시설이 3개소(20%)로 가장 많이 분포하는 것으로 나타났음. 이는 개방형 지열시스템에 비해 밀폐형 지열시스템이 더 많은 개발공수가 필요한 것으로 추정됨.



〈그림 3-56〉 개방형 지열시스템 지하수관정

〈표 3-28〉 지열시스템 시설유형별 개발공수 현황

구분	계		시설유형			
			개방형		밀폐형	
	시설수(개소)	비 율	시설수(개소)	비 율	시설수(개소)	비 율
계	**52**	**100%**	**37**	**100%**	**15**	**100%**
1공~4공	17	33%	15	41%	2	13%
5공~8공	16	31%	14	38%	2	13%
9공~12공	4	8%	2	5%	2	13%
13공~16공	3	6%	2	5%	1	7%
17공~20공	2	4%	2	5%	0	0%
21공~30공	4	8%	1	3%	3	20%
30공 이상	3	6%	1	3%	2	13%
확인불가	3	6%	0	0%	3	20%



〈그림 3-57〉 지열시스템 시설유형별 개발공수 현황

지열시스템 굴착공 개발심도 현황을 살펴보면, 조사시설 52개 시설 중 400m~500m미만 시설이 전체의 약 38%인 20개소로 가장 많이 분포하는 것으로 나타났고, 그 다음으로 200m미만이 13개소(25%), 300m~400m미만이 7개소(13%) 순으로 나타났으며, 6개소(12%)가 확인불가 한 것으로 나타났음.

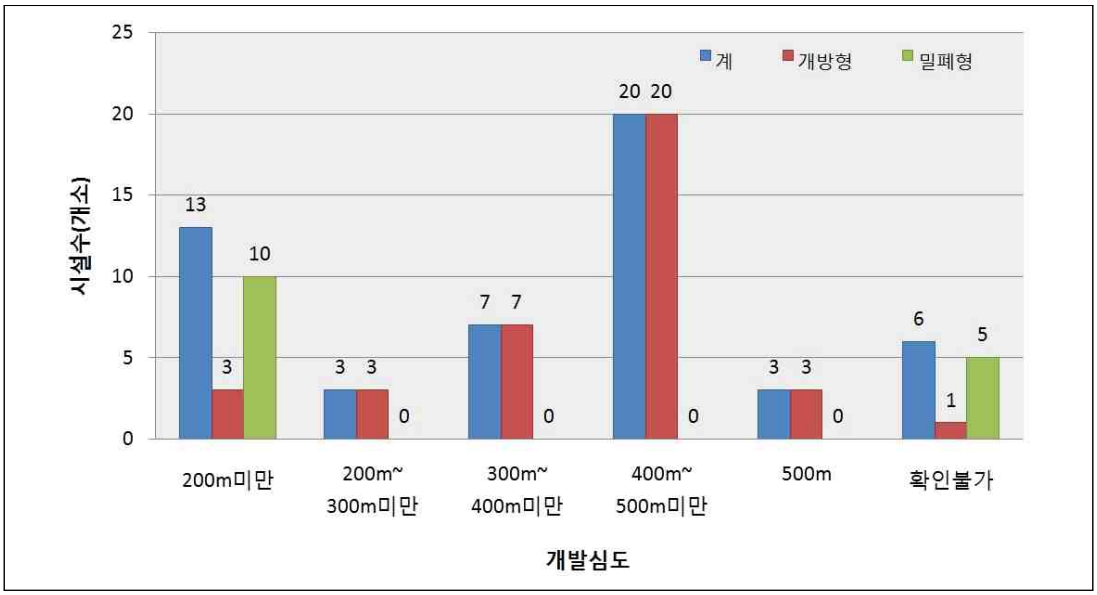
시설유형별로는 개방형 지열시스템의 경우 400m~500m미만이 개방형 지열시스템 전체 조사시설 37개소 중 절반이 넘는 약 54%(20개소)인 것으로 조사되었고 그 다음으로 300m~400m미만이 약 19%(7개소) 인 것으로 조사되었음.

한편, 밀폐형 지열시스템의 경우에는 조사시설 15개소의 시설 중 약 67%인 10개소가 200m미만으로 상대적으로 낮은 심도로 굴착한 것으로 나타났음. 밀폐형 지열시스템은 굴착공 개발 이후 지하수법에 의거 별도의 관리를 받지 않는 특성으로 인해 개발심도가 확인되지 않은 시설이 다수 발생하였음.

정리하면 개방형 지열시스템은 상대적으로 깊은 심도와 더불어 적은 공수로 개발·이용하는 반면, 밀폐형 지열시스템은 낮은 심도와 더불어 많은 공수로 개발·이용 하는 것을 알 수 있었음. 이는 개방형 지열시스템은 지하수를 직접순환시켜 열교환하는 기술로서 밀폐형 지열시스템에 비해 열교환 성능이 우수하고 막대한 포텐셜의 지하수를 활용한다는 점에서 비용대비 효율이 높다고 알려져 있는(남유진, 2013) 것과 일맥상통 하다고 볼 수 있었음.

〈표 3-29〉 지열시스템 시설유형별 굴착심도 현황

구분	계		시설유형			
			개방형		밀폐형	
	시설수 (개소)	비 율	시설수 (개소)	비 율	시설수 (개소)	비 율
계	52	100%	37	100%	15	100%
200m미만	13	25%	3	8%	10	67%
200m~300m미만	3	6%	3	8%	0	0%
300m~400m미만	7	13%	7	19%	0	0%
400m~500m미만	20	38%	20	54%	0	0%
500m	3	6%	3	8%	0	0%
확인불가	6	12%	1	3%	5	33%



〈그림 3-58〉 지열시스템 시설유형별 굴착심도 현황

㉱ 히트펌프용량 및 부하면적 현황

지열시스템에 있어 히트펌프는 실제 냉·난방 효율에 중요한 역할을 한다고 볼 수 있음. 부하면적 대비 적절한 히트펌프 용량선택은 소비자들이 느끼는 효율의 좋고 나쁨의 척도가 됨. 그러나 본 연구에서 조사시 상당수의 지열시스템 담당관리자가 부하면적의 데이터화가 되어있지 않아 대략적으로만 알고 있을 뿐 정확한 수치를 제시해 주지 못하였음. 따라서 지열시스템 관리시 히트펌프용량 뿐만 아니라 부하면적 또한 현황판 및 관리데이터에 수록해 놓을 필요가 있을 것으로 판단됨.



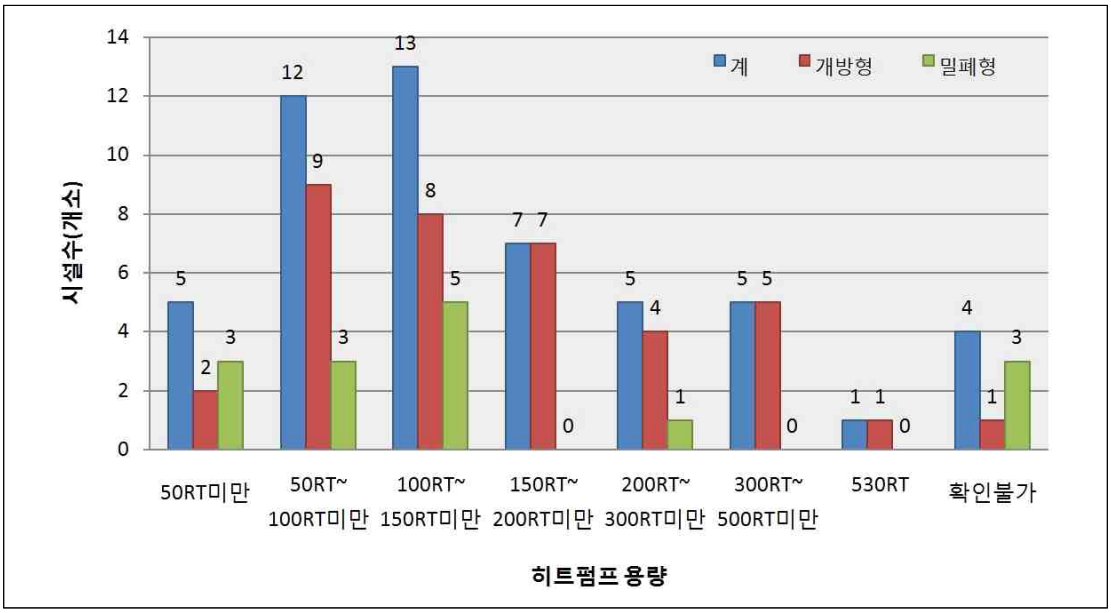
〈그림 3- 59〉 히트펌프 전경 및 제원표

조사시설 52개소에 대해 히트펌프용량 현황을 살펴본 결과 100RT~150RT미만이 13개소(25%)로 가장 많이 설치되어 있는 것으로 조사되었고 그 다음으로 50RT~100RT미만이 12개소(23%), 150RT~200RT 미만이 7개소(13%)순으로 조사되었음. 가장 높은 히트펌프용량은 530RT로 충남 아산에 위치한 00대학(본관)인 것으로 조사되었음.

시설유형별로는 개방형 지열시스템은 50RT~100RT미만이 9개소로 가장 많이 설치되어 있는 것으로 조사되었고, 밀폐형 지열시스템은 100RT~150RT미만인 5개소로 가장 많이 설치되어 있는 것으로 조사되었음.

〈표 3-30〉 시설유형별 히트펌프용량 현황

구분	계		시설유형			
			개방형		밀폐형	
	시설수 (개소)	비 율	시설수 (개소)	비 율	시설수 (개소)	비 율
계	52	100%	37	100%	15	100%
50RT미만	5	10%	2	5%	3	20%
50RT~100RT미만	12	23%	9	24%	3	20%
100RT~150RT미만	13	25%	8	22%	5	33%
150RT~200RT미만	7	13%	7	19%	0	0%
200RT~300RT미만	5	10%	4	11%	1	7%
300RT~500RT미만	5	10%	5	14%	0	0%
530RT	1	2%	1	3%	0	0%
확인불가	4	8%	1	3%	3	20%



〈그림 3- 60〉 시설유형별 히트펌프용량 현황

부하면적은 지열시스템 관리자가 파악하지 못하고 있어 확인이 불가한 시설이 14개소로 가장 많은 것으로 확인되었음.

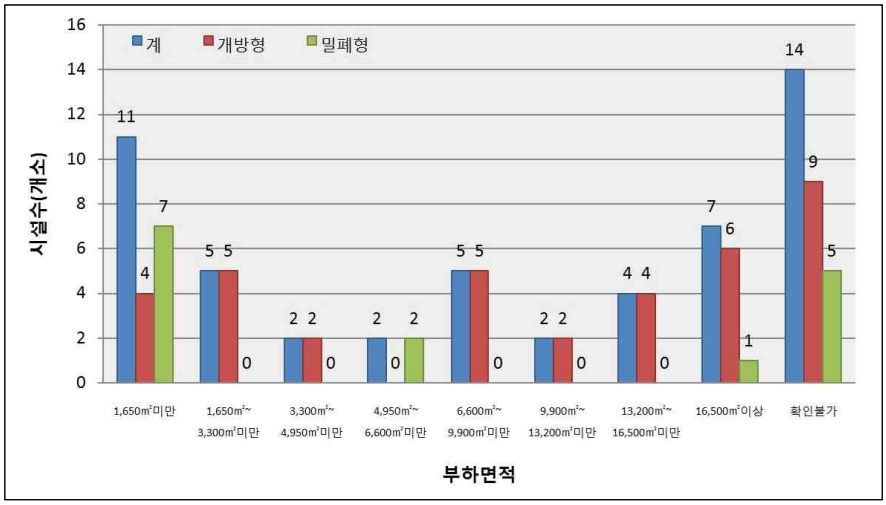
부하면적이 확인이 된 시설 중 1,650㎡미만이 11개소(21%)로 가장 많은 것으로 확인되었고 그 다음으로는 16,500㎡이상이 7개소(13%), 1,650㎡~3,300㎡미만과 6,600㎡~9,900㎡미만이 각각 5개소(10%) 순인 것으로 확인되었음.

시설유형별로는 개방형 지열시스템은 16,500㎡이상이 6개소(24%)로 가장 많은 것으로 확인되었고 밀폐형 지열시스템은 1,650㎡미만이 7개소(47%)로 가장 많은 것으로 확인되었음.

통계적으로는 부하면적과 지열시스템의 시설유형과는 크게 상관성이 없는 것으로 나타났음.

〈표 3-31〉 시설유형별 부하면적 현황

구분	계		시설유형			
			개방형		밀폐형	
	시설수(개소)	비 율	시설수(개소)	비 율	시설수(개소)	비 율
계	52	100%	37	100%	15	100%
1,650㎡미만	11	21%	4	11%	7	47%
1,650㎡~3,300㎡미만	5	10%	5	14%	0	0%
3,300㎡~4,950㎡미만	2	4%	2	5%	0	0%
4,950㎡~6,600㎡미만	2	4%	0	0%	2	13%
6,600㎡~9,900㎡미만	5	10%	5	14%	0	0%
9,900㎡~13,200㎡미만	2	4%	2	5%	0	0%
13,200㎡~16,500㎡미만	4	8%	4	11%	0	0%
16,500㎡이상	7	13%	6	16%	1	7%
확인불가	14	27%	9	24%	5	33%



〈그림 3- 61〉 시설유형별 부하면적 현황

② 지열시스템 관리현황

지열시스템은 최초 설치시 사전 조사, 설계, 설치 등도 중요하지만 설치 이후 운영시 정기적 점검 및 사후관리 등이 수반되어야 만 장기적으로 효율저하 없이 최적의 상태로 운영 할 수 있음. 따라서 본 연구에서는 지중설비 부문, 기계설비 부문, 부하설비 부문 등에 대해서 조사하였음.

지열시스템 중 개방형 지열시스템에만 해당되는 지중설비 관리현황을 살펴보았다. 지중설비로는 지열공(지하수 관정), 수중모터펌프, 지하수량, 수질상태 등이 해당됨.

㉮ 수중모터펌프 관리현황

수중모터펌프는 지하수를 판형열교환기까지 보내주는데 중요한 역할을 하는 장비임. 개방형 지열시스템 총 37개소의 수중모터펌프 고장여부를 조사한 결과 약 78%인 29개소가 고장이 난 것으로 조사되었고 약 19%인 7개소만이 운영 중에 고장없이 가동 된 것으로 조사되었음. 한편, 1개소는 지열시스템 담당관리자가 2017년도에 부임하여 수중모터 고장여부를 알지 못하였음.

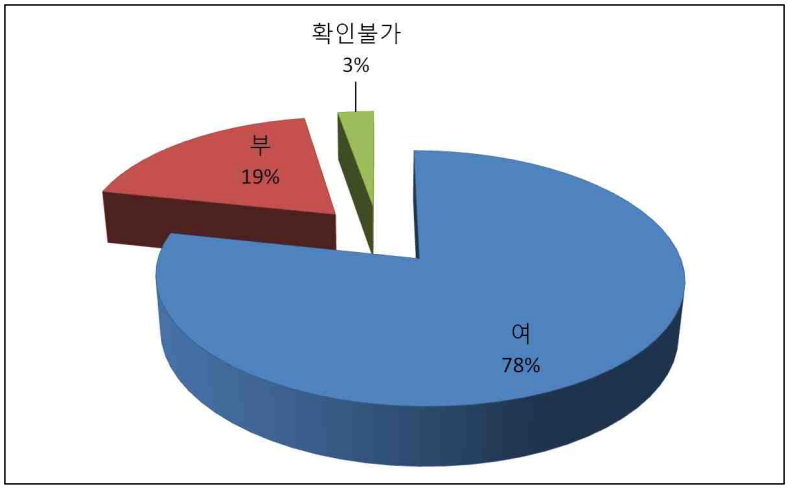
고장의 주원인으로는 수중모터의 소손, 수중모터 연결케이블의 노후화로 인한 누수현상인 것으로 나타났음.



〈그림 3-62〉 교체한 수중모터펌프 사진

〈표 3-32〉 개방형 지열시스템 수중모터펌프 고장여부

구분	계	수중모터펌프 고장여부		
		여	부	확인불가
개방형 지열시스템 시설수(개소)	37	29	7	1
비 율	100%	78%	19%	3%



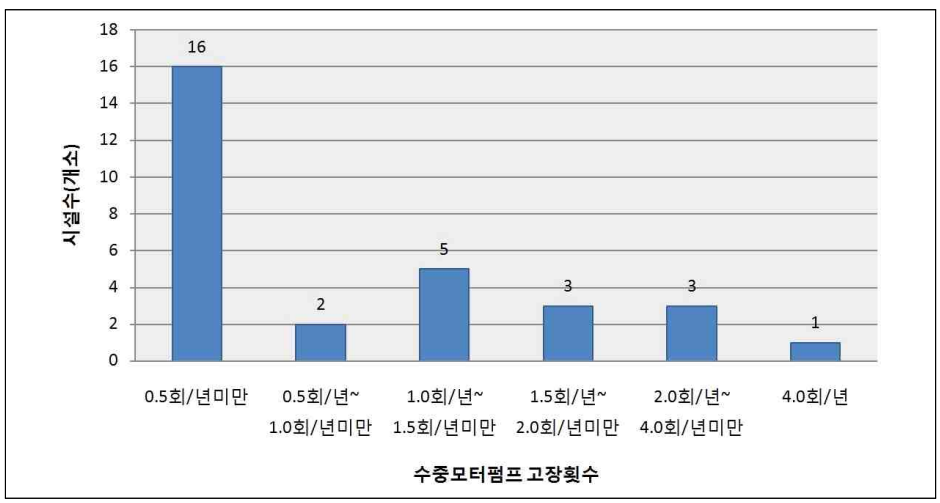
〈그림 3- 63〉 개방형 지열시스템 수중모터 고장여부

수중모터펌프의 고장횟수를 살펴보면 0.5회/년 미만인 시설이 16개소로 전체 고장이 있었던 시설 29개소의 약 55%를 차지했음. 그 다음으로는 1.0회/년~1.5회/년 미만이 5개소, 2.0회/년~4.0회/년 미만이 3개 순으로 나타났음. 가장 많이 고장난 횟수는 4.0회/년으로 1개소로 나타났음.

이는 수중모터펌프의 고장이 최소 2년~3년에 1회정도 발생할 수 있다는 것으로 정기적인 수중모터펌프 인양·점검, 연결케이블의 절연값을 측정하여 고장 징후 발생시 신속한 조치가 필요할 것으로 판단됨.

〈표 3- 33〉 개방형 지열시스템 수중모터펌프 고장횟수

구분	시설수(개소)	비 율
계	29	100%
0.5회/년 미만	16	55%
0.5회/년~1.0회/년 미만	2	7%
1.0회/년~1.5회/년 미만	5	17%
1.5회/년~2.0회/년 미만	2	7%
2.0회/년~4.0회/년 미만	3	10%
4.0회/년	1	3%



〈그림 3-64〉 개방형 지열시스템 수중모터펌프 고장횟수

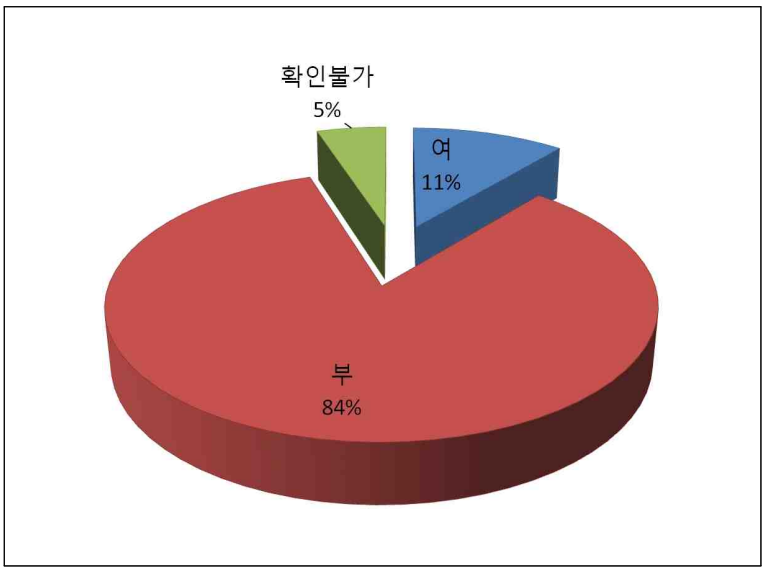
㉰ 지열공 관리현황

개방형 지열시스템의 지열공은 장기간 이용시 열전단 성능저하가 발생해 효율이 저하될 우려가 있어 2년에 1회 지열공 내부청소를 실시하여 지열공 내 침전물과 내부케이싱 안쪽의 침전물에 의한 공막힘 현상을 방지하도록 권장하고 있음(김남주 외, 2012).

그러나 개방형 지열시스템의 지열공 청소는 대부분(31개소)이 기술적요인, 비용적요인, 관리자의 무관심에 의해 이루어지지 않고 있는 실정으로 조사되었음. 지열공 청소를 실시한 4개소(11%)의 경우에도 수중모터펌프 고장으로 인해 인양·교체시에만 지열공 청소를 실시한 것으로 나타났음.

〈표 3-34〉 개방형 지열시스템 지열공 청소여부

구분	계	지열공 청소여부		
		여	부	확인불가
개방형 지열시스템 시설수(개소)	37	4	31	2
비 율	100%	11%	84%	5%



〈그림 3-65〉 개방형 지열시스템 지열공 청소여부

㉱ 지하수량 및 수질관리 현황

개방형 지열시스템의 지열공 내 지하수량 변화를 설문조사한 결과 총 37개소 중 1개소만이 증가하는 것으로 나타났고 4개소가 감소, 5개소가 확인불가로 나타났으며 대부분이(27개소) 변화가 없는 것으로 인지하고 있었음.

개방형 지열시스템의 지하수량은 지하수를 순환시켜 지열을 이용하는 개방형 지열시스템의 중요한 인자로서 정기적으로 확인 할 필요가 있음.

그러나 지하수량 변화는 지열시스템 관리자가 체감상 느끼는 결과로써 정확한 지하수위 데이터 또는 지하수량을 파악할 수 있는 계기판이 없다보니 지하수량의 증감현황을 정확히 알기는 어려웠음. 따라서 개방형 지열시스템 설계·설치시 지하수량을 파악할 수 있는 계기판을 설치해야 할 것으로 판단됨.

또한, 지하수량과 밀접한 관계가 있는 지하수위의 경우 「신·재생에너지 설비의 지원 등에 관한 지침(한국에너지공단, 2018)」에 의하면 “지하수위를 측정하기 위해 지열우물공 내에 수동 또는 자동으로 수위를 측정할 수 있는 관측장치를 설치하여야 한다”고 되어 있으나 실제 현장에서는 지하수위를 수동으로 측정하거나 자동측정 센서가 설치되어 있는 경우는 거의 없었음.

〈표 3-35〉 개방형 지열시스템 지하수량 현황

구분	계	지하수량 변화			
		증가	감소	없음	확인불가
개방형 지열시스템 시설수(개소)	37	1	4	27	5
비 율	100%	3%	11%	73%	14%

개방형 지열시스템 지열우물공의 지하수 수질항목 및 검사의 주기 등은 지하수법 제20조 및 동법 시행령 제31조에 의거 생활용수 기준으로 3년에 1회 수질검사를 받게 되어 있음.

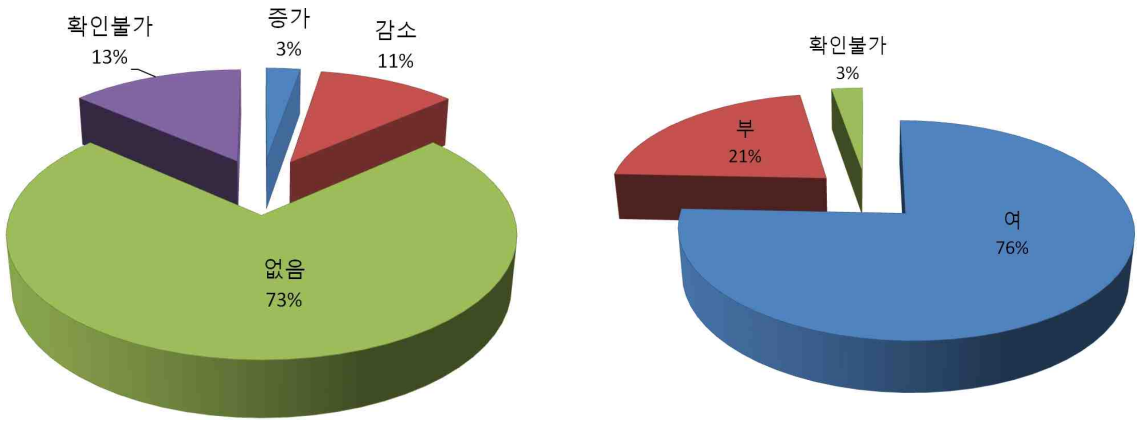
조사결과 전체 개방형 지열시스템 37개소 중 약 76%인 28개소는 수질검사를 실시하고 있었으나 8개소(22%)는 수질검사를 정기적으로 하지 않고 있었음. 한편, 수질검사를 실시한 28개소는 생활용수 기준에 적합판정을 받은 것으로 조사되었음.

수질검사를 실시하지 않은 시설은 지열시스템 관리자가 해당 법령을 인지하지 못하고 있거나 관할 지자체 지하수 담당부서에서 별도의 안내를 하지 않아 제대로 시행되지 않고 있는 것으로 확인되었음.

〈표 3-36〉 개방형 지열시스템 수질검사 여부

구분	계	수질검사 여부		
		여	부	확인불가
개방형 지열시스템 시설수(개소)	37	28	8	1
비 율	100%	76%	22%	3%

주) 수질검사 실시한 28개소 모두 적합판정



(a) 지하수량 변화 (b) 수질검사 여부

〈그림 3- 66〉 개방형 지열시스템 지하수량 현황 및 수질검사 여부

㉮ 기계설비(히트펌프) 관리현황

시설유형별로 히트펌프 고장여부를 살펴본 결과 개방형 지열시스템은 총 37개소 중 약 81%인 30개소가 운영 중 최소 1회 이상 고장이 났던 것으로 조사되었고 밀폐형 지열시스템은 조사시설 15개소 중 약 67%인 10개소가 고장이 났던 것으로 조사되었음.

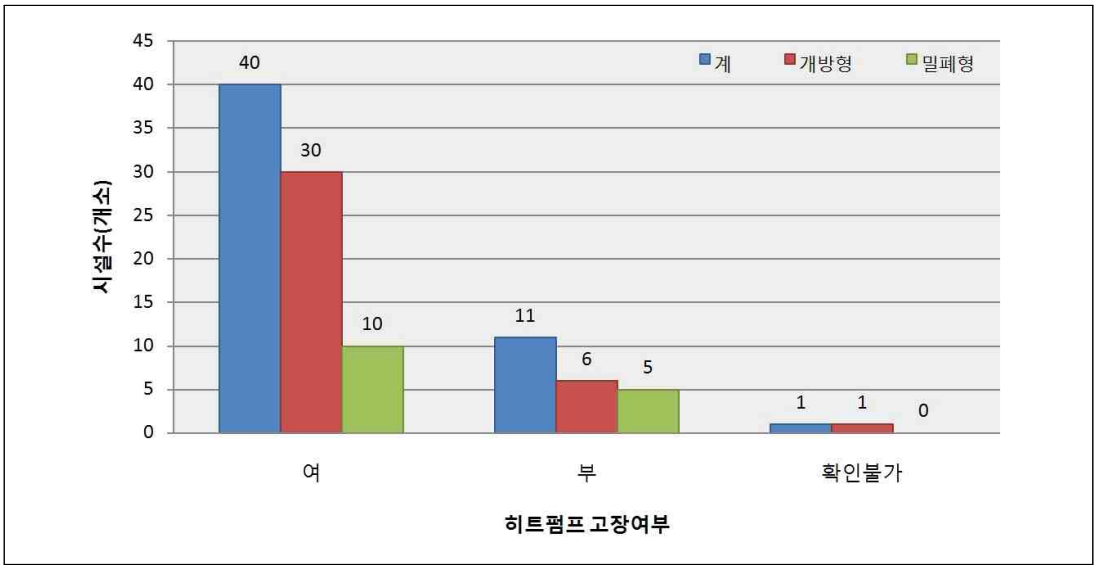
히트펌프 고장의 주원인은 사방밸브 고장, 냉매소진, 연결호스 누수 등으로 파악되지만 관련 A/S업체가 현장에 와서 확인하기 전까지는 지열시스템 관리자가 원인을 파악하는 것은 어려운 실정인 것으로 조사되었음.

〈표 3-37〉 시설유형별 히트펌프 고장여부

구분		계	히트펌프 고장여부		
			여	부	확인불가
계	시설수(개소)	52	40	11	1
	비 율	100%	77%	21%	2%
개방형	시설수(개소)	37	30	6	1
	비 율	100%	81%	16%	3%
밀폐형	시설수(개소)	15	10	5	0
	비 율	100%	67%	33%	0%



〈그림 3-67〉 히트펌프 내부사진



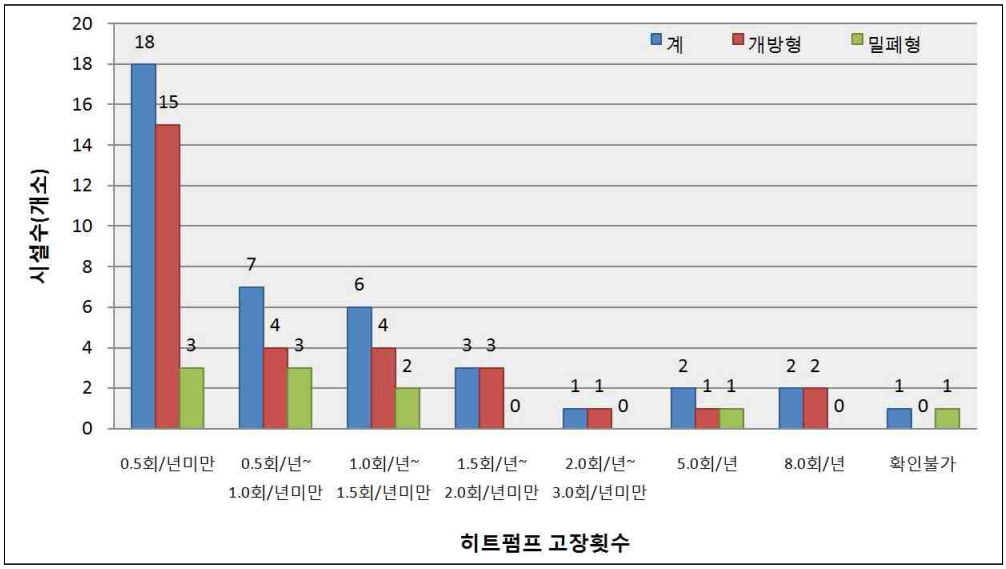
〈그림 3-68〉 시설유형별 히트펌프 고장여부

지열시스템 가동 중 히트펌프 고장이 1회라도 있었던 시설 40개소에 대해 고장횟수를 조사한 결과 1.0회/년 미만이 25개소로 약 63%를 차지하는 것으로 나타나 대략 2년~3년에 1회 정도 고장이 나는 것으로 분석되었음.

한편, 가장 많은 고장 횟수는 1년에 8회로 거의 상시적으로 고장이 나고 있는 상황인 것으로 나타났음. 해당 시설은 현재 A/S업체와 긴밀히 협의하고 있는 중으로 히트펌프의 문제와 타 설비(지중설비, 부하설비 등) 또한 고장의 원인일 수 있다는 것을 배제하지 않고 조사 중인 것으로 확인 되었음.

〈표 3-38〉 시설유형별 히트펌프 고장횟수

구분	계		시설유형			
			개방형		밀폐형	
	시설수 (개소)	비 율	시설수 (개소)	비 율	시설수 (개소)	비 율
계	40	100%	30	100%	10	100%
0.5회/년 미만	18	45%	15	50%	3	30%
0.5회/년~1.0회/년 미만	7	18%	4	13%	3	30%
1.0회/년~1.5회/년 미만	6	15%	4	13%	2	20%
1.5회/년~2.0회/년 미만	3	8%	3	10%	0	0%
2.0회/년~3.0회/년 미만	1	3%	1	3%	0	0%
5.0회/년	2	5%	1	3%	1	10%
8.0회/년	2	5%	2	7%	0	0%
확인불가	1	3%	0	0%	1	10%



〈그림 3-69〉 시설유형별 히트펌프 고장횟수

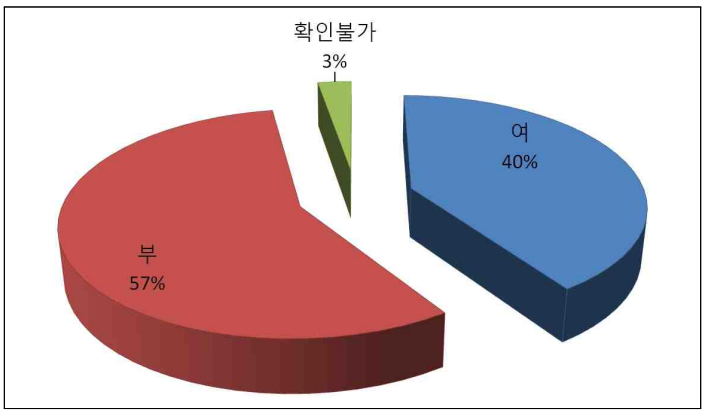
㈐ 기계설비(판형열교환기) 관리현황

개방형 지열시스템 판형열교환기 정비여부를 살펴보면 조사시설 37개소 중 약 40%인 15개소만 정비를 하였고 나머지 21개소(57%)는 지열시스템 가동 이후 정비를 하지 않은 것으로 조사되었음.

지하수에서 유입되는 슬라임을 1차적으로 필터링 해주는 판형열교환기는 막힘현상을 방지하기 위해 정기적으로 정비(청소)를 해 줄 필요가 있음. 정비방법으로는 판형열교환기 해체 후 세정액 등을 이용하여 세관을 해주는 방법이 있음. 조사 결과 판형열교환기를 정비했던 시설들은 대부분 지열시스템 관리자가 직접 해체 후 세관을 하고 있는 것으로 조사되었음.

〈표 3-39〉 개방형 지열시스템 판형열교환기 정비여부

구분	계	판형열교환기 정비여부		
		여	부	확인불가
개방형 지열시스템 시설수(개소)	37	15	21	1
비 율	100%	40%	57%	3%



〈그림 3-70〉 개방형 지열시스템 판형열교환기 정비여부



〈그림 3-71〉 판형열교환기 및 노후(교체)된 판형열교환기

㈐ 개방형 지열시스템 블리딩(Bleeding) 현황

「신·재생에너지 설비의 지원 등에 관한 지침(한국에너지공단, 2018)」에 따르면 “블리딩을 위한 배관 및 밸브를 설치하여야 하며, 블리딩량은 순환지하수량 또는 지하수영향조사의 1일 적정 취수량 중 작은량의 20% 이내로 한다.”고 기준이 제시되어 있음.

개방형 지열시스템의 블리딩 여부를 살펴본 결과 조사시설 37개소 중 25개소(68%)가 자동 또는 수동으로 블리딩을 실시하고 있었고 12개소(32%)는 블리딩 밸브가 설치되어 있지 않거나 설치되어 있더라도 블리딩을 실시하지 않고 있었음.

블리딩을 실시하지 않은 사유는 블리딩 개념과 방법에 대해 업무 인수·인계시 제대로 전달받지 못하였거나 또는 지자체 하수도 사용로 부과로 인해 실시하지 않은 경우 그리고 지열 냉·난방 효율이 잘 나와서 블리딩을 하지 않은 사례도 있었음.

〈표 3-40〉 개방형 지열시스템 블리딩 현황

구분	계	판형열교환기 정비여부		
		여		부
		자동	수동	
개방형 지열시스템 시설수(개소)	37	14	11	12
비 율	100%	38%	30%	32%



〈그림 3-71〉 블리딩 현장사진

③ 부하설비 등 기타 현황

㉮ 부하설비 증감 현황

부하설비의 경우 국내 지열시스템을 설치·운영하고 있는 시설 대부분 최초 건축물 개발시부터 설계를

실시하기 때문에 중간에 부하면적이나 설비 등이 증가 또는 감소하는 경우는 거의 없었음.

한편, 본 연구에서 조사한 시설 중 1개소(00대학교)가 당초에는 신관·구관 모두 지열시스템을 설치·운영하다가 이후 신관은 다른 열원으로 이용하면서 부하면적이 감소한 것으로 조사되었음.

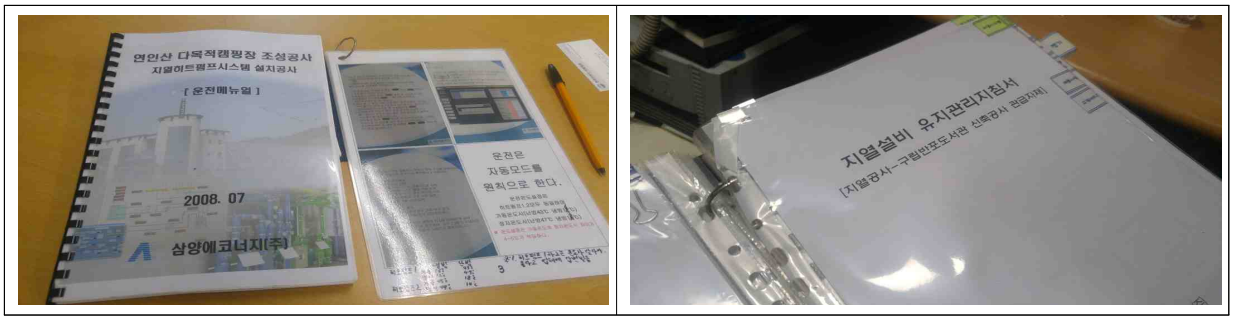
㉰ 시설운영 사용매뉴얼 현황

지열시스템 관리자가 변경될 경우 정확한 업무 인수·인계를 위해서는 시설운영 사용매뉴얼은 필연적인 부분임. 조사시설 중 약 75%인 39개소만이 시설운영 사용매뉴얼이 비치되어 있었고 나머지 13개소는 전무한 것으로 나타났음. 또한, 매뉴얼이 비치되어 있다 하더라도 지열시스템 관리자가 숙지되지 않았거나 정확한 내용을 이해하지 못하는 경우도 다수인 것으로 조사되었음.

향후 지열시스템 시설운영 사용매뉴얼을 필수적으로 비치해야 하는 의무사항으로 규정하는 것이 바람직 할 것으로 판단됨.

〈표 3-41〉 시설운영 사용매뉴얼 현황

구분	계	매뉴얼 비치여부	
		여	부
시설수(개소)	52	39	13
비 율	100%	75%	25%



〈그림 3-72〉 시설운영 매뉴얼 사진

㉱ 기타 의견

지열시스템 관리자 설문조사시 건의사항 또는 애로사항에 대해 청문한 결과는 다음과 같음.

- 지열시스템 전문관리자 양성 건의 : 현재 지열시스템 관리자는 대부분 기계설비, 전기 계통의 관리자로서 지열시스템 개념 부족과 전문성이 결여된 상태임. 따라서 국가차원의 지열시스템 전문관리자 분야를 개설 및 교육하여 지열시스템 활성화를 할 필요가 있음.
- 사후관리 항목 공식지침 마련 : 열교환기, 히트펌프 등 정기점검 및 정비를 하고 싶으나 공공기관의 특성상 별도의 공식지침이 없어 예산확보 어려움.
- 축열탱크 설치의무화 건의 : 지열시스템 설계시 지질 및 현장여건, 효율에 따라 축열탱크 설치가 선택사항으로 되어 있으나 신속가동 및 효율증대를 위해서는 축열탱크 설치의무화가 되어야 한다는 의견이 있었음.
- A/S 전문기관 설치 건의 : 지열시스템 공공의무화사업이 시행된 시기에 설치되어 10년 이상 노후화 된 시설의 고장이 발생하였을 때 기존 민간 A/S업체의 폐업·축소·연락 부재 등으로 인해 원활한 A/S가 이루어지지 않고 있는 실정임. 국가차원의 지열시스템 전문기관을 설치하여 지속적인 지열시스템 운영이 가능토록 해야 할 것임. 또한, 지열시스템은 지중설비(수중모터펌프, 지열공), 기계설비(히트펌프, 열교환기 등) 등의 분야가 다르다보니 총괄 관리할 수 있는 지열시스템 전문분야가 필요할 것으로 생각됨.
- 블리딩(Bleeding) 수량 하수도요금 감면 건의 : 에너지효율 측면에서 블리딩을 실시하고 싶으나 지자체의 하수도요금 부과로 인해 실제 블리딩을 실시하지 못하고 있는 실정임.

(다) 종합 분석

본 연구에서는 현장방문 및 조사한 지열시스템 시설 총 52개소(개방형 37개소, 밀폐형 15개소)에 대해 데이터베이스 구축을 완료하였음.

조사시설 중 설치·운영 기간이 약 10년 이상(2009년 이전)된 시설은 28개소로 지중설비, 기계설비 등의 노후화가 진행되었음.

조사결과, 개방형 지열시스템의 수중모터펌프는 전체 37개소 중 설치·운영 중에 1회 이상 고장난 시설이 29개소(78%), 히트펌프는 전체 52개 조사시설 중 40개소(77%)가 설치·운영 중에 1회이상 고장이 난 것으로 조사되었음.

또한, 지열공 청소는 개방형 지열시스템 37개소 중 약 84%인 31개소가 이루어지지 않았고 판형열교환기는 21개소(57%)가 1회도 정비(세관)를 하지 않은 것으로 나타났음.

이는 지열시스템 관리자의 전문성 결여 및 A/S업체의 신속한 대응이 이루어지지 않은 결과로 조사되었음.

따라서 지열시스템 전문관리자 분야 양성, 운영관리 매뉴얼 제작 및 배포, A/S 전문기관 국가차원 설치, 사후관리 항목 공식지침 마련한다면 상기의 노후화 완화, 기계설비·지중설비 등 수명연장이 가능해 질 것임.

(3) 기술의 보급 및 홍보

복수의 지열정 페어링 및 지하수연동제어기술을 활용한 지중열교환 효율 증대기술의 국내·외 보급 및 홍보를 위해 관련분야의 학회 및 연찬회 등 전시 및 발표하였음. 또한, 본 연구의 홍보영상을 제작 및 배포하여 관련분야 전문가 및 일반인의 접근성을 높였음.

(가) 국내 기술보급 및 홍보

① 한국건축친환경설비학회 참가

2018년 11월 15~16일에 개최한 한국건축친환경설비학회에 참가하여 본 연구기술의 보급 및 홍보하였음. 한국건축친환경설비학회는 회원 1,000여명이 활동하고 있고 매년 심포지움, 학술강연회, 학술발표회 등을 개최하고 있음.



〈그림 3-73〉 한국건축친환경설비학회 참가사진

② 물종합기술연찬회

매년 열리는 물종합기술연찬회는 한국지하수지열협회, 워터저널, 국회환경포럼 등이 공동주최하고 환경부, 국회물관리연구회, 국립환경과학원 등이 후원하는 물관련 주요연찬회로써 전국 지자체 물·환경 담당공무원, 산·학·연 물 관련 관계자 등이 모이는 자리임.

2019년 2월 14~15일 양일간 열린 물종합기술연찬회 참가하여 본 연구기술의 발표 및 홍보실시하였음.



〈그림 3-74〉 물종합기술연찬회 참가사진

(나) 국외 기술보급 및 홍보

① 일본 지구과학협회(Japan Geoscience Union)

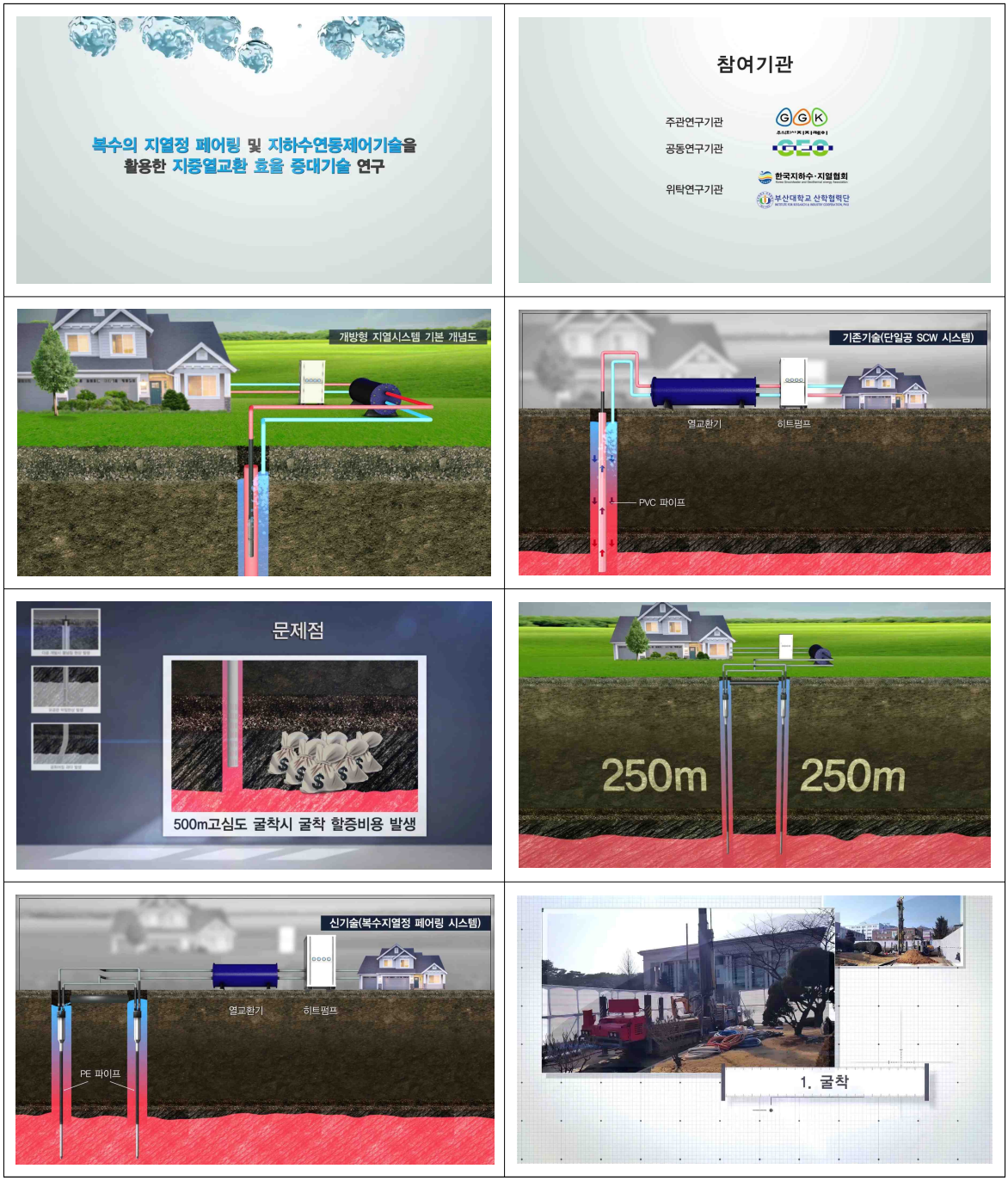
복수의 지열정 페어링 및 지하수연동제어기술을 활용한 지중열교환 효율 증대기술을 알리기 위해 일본국 지바현에서 2017년 3월 20 ~ 25일 열린 일본 지구과학협회에 참가하여 본 연구기술의 보급 및 홍보활동 하였음.



〈그림 3-75〉 일본 JPGU학회 참가사진

(다) 홍보영상 제작 및 배포

① 복수의 지열정페어링 및 지하수연동제어기술을 활용한 지중열교환 효율 증대기술의 성과를 홍보영상으로 제작하여 기술보급 및 홍보에 기여하였음.



〈그림 3- 76〉 홍보영상 캡쳐사진

4. 목표달성도 및 관련 분야 기여도

가. 목표 달성도

구분			목표	달성도(%)	비고
국외 논문 게재	SCI		1	100	
	비SCI				
	계		1	100	
국내 논문 게재	SCI				
	비SCI		4	125	국내 논문 5건 게재
	계		4	125	
등록·기탁 대상 성과물	보고서 원문				
	연구시설·장비				
	기술요약정보				
	생명자원	생명정보			
		생물자원			
		신품종			
	소프트웨어				
	화학물				
기타	시제품		2	100	자동제어시스템 및 연구과제 지열시스템에 대한 시제품 제작
	성과 홍보			4	학회참석 2회 연찬회 발표 1회 신문기사 게재 1회

나. 관련 분야 기여도

(1) 기술적 측면

(가) 에너지효율이 낮은 지열공과 에너지효율이 높은 지열공간의 지열정 페어링 및 지하수 연동제어를 통해 기존에 대수층의 발달이 미흡하여 개방형지열시스템을 적용하지 못한 지역에서 시스템을 적용할 수 있음

(나) 국내 수리지질학적인 특성에 적합한 개방형지열시스템 지열정 페어링 및 지하수 연동제어기술을 개발함으로써 고효율의 지중열원 확보

(다) 지열정 페어링 및 지하수 연동제어기술은 SCW형 지열시스템, Two well 지열시스템의 장점을 융합한 하이브리드형 기술개발에 따른 다양한 공법의 시공시도 가능

(2) 경제적·산업적 측면

(가) 중소민간기업주도로 세계최초의 지하수이용 지중열교환 상업용 모델 개발에 따른 대외 기술위상 제고

(나) 고효율 중규모설비로 설비 유지관리 및 재생정비 용이하여 수명주기가 30년~50년 이상인 상업용 건축물 적용에 매우 유리

(다) 에너지 자원의 97% 이상을 수입에 의존하는 상황에서 높은 효율의 대체에너지를 사용함으로써 에너지를 절감할 수 있음

(라) 지열에너지 사용 분야를 확대시킴으로써 지열에너지 사업을 활성화시킬 수 있으며 특히 최근에 지열에너지 사용이 확대되는 시설원예 분야의 난방비 절감에 크게 기여

(3) 사회적 측면

(가) 정부의 최우선 기술개발목표인 지열시스템 시공비 저감 기술개발(지열공 굴착비용 절감 10% 이상)에 부응

(나) 지하수법 제9조의 7이 규정하고 있는 합리적 지하수 냉난방 개발 및 이용정책 목표달성

(다) 정부 제3차 지열산업기술개발 최종목표가 지향하는 지열설비 설치비 절감에 의한 자생적 시장창출 환경조성

다. 목표 미달성시 원인(사유) 및 차후대책

(1) 특허 등록

특허의 활용성 및 연구과제 내용의 반영 및 수정으로 인해 특허출원이 늦어졌으며, 현재 진행중인 특허출원이 완료 되는 즉시 바로 특허등록 및 국제특허출원 업무 진행 예정

5. 연구개발성과의 활용계획

가. 연구개발성과의 활용방안

(1) 본 연구에서 제안한 지열정 페어링 및 지하수 연동제어기술은 기 설치되어 있는 개방형 지열냉난방 스템의 에너지 효율을 증대시키고 지열공에서 지하수 주입 시 발생하는 역류현상을 해결할 수 있음

(가) 다공형 개방형지열시스템의 특성상 에너지 효율이 최저인 지열공을 기준으로 지열냉난방시스템을 설치했지만 지열정 페어링 및 지하수 연동제어기술의 경우 평균 열에너지 효율을 상회하는 시스템 설치할 수 있음

(나) 지열공에서 지하수 역류가 일어나는 시설에 최소한의 비용으로 시스템을 개선할 수 있음

(다) 개방형지열시스템의 시공기준에 의해 일률적인 심도를 유지해야 하는 구조에서 암반파쇄형태 및 대수층의 수리특성을 고려하여 굴착심도를 다르게 시공을 함으로써 시공비감소를 실현할 수 있음

(라) 연구 과정에서 획득한 유·무형 성과는 특허출원 및 건설 신기술 취득

(마) 상업용 시공모델 시제품 출시

(바) 지열생산정은 장기모니터링이 가능하도록 건축주와 협의(일정기간2~3년)후 원상보존 존치 (500m 1공, 250m 4공)

(사) 물리검층자료, 시추주상도 등 연구과정에서 취득된 기술자료 영구보존 및 시공경험 및 유사사례 D/B 구축

(아) 전문기관, 대학 등에 설계·시방서 및 유지관리지침

(자) 현재 사회적 이슈가 되는 지열에너지 개발 심도 및 용량과 지진의 상관관계에 대한 추가 연구과제를 통해 연구예정

나. 사업화 계획

(1) 생산 계획

구분		(2020년) 개발 종료 후 1년	(2021년) 개발 종료 후 2년	(2022년) 개발 종료 후 3년
국내	시장점유율(%)	2%	3%	5%
	판매량	150 RT	200 RT	250 RT
	판매 단가(백만원)	5.5/RT	5.0/RT	5.0/RT
	국내 매출액(백만원)	825	1,100	1,375
해외	시장점유율(%)			
	판매량			
	판매 단가(달러)			
	해외 매출액(백만달러)			
당사 생산 능력(RT)		150	200	250

(2) 투자 계획

(단위: 백만원)

항목		(2020년) 개발 종료 후 1년	(2021년) 개발 종료 후 2년	(2022년) 개발 종료 후 3년
매출원가(백만원/RT)		5.5	5.5	5.5
판매관리비		125	100	100
자본적 지출	토지	100	50	25
	건물/구축물	25	25	50
	기계 장치 등	75	50	100
자본적 지출 합계		200	125	175

(3) 사업화 전략

(가) 참여기업 1(지지케이)

구분	구체적인 내용
형태/규모	o 완성기술의 현장적용, 6백만원/RT
상용화 능력 및 자원 보유	o 지속적인 장비 및 전문인력에 대한 교육 및 투자 년간 1억
상용화 계획 및 일정	o 연구종료 후 3년 30억/년 이윤창출

(나) 참여기업 2(지오엔지니어링)

구분	구체적인 내용
형태/규모	o 완성기술 및 기존시설의 성능개선 현장적용, 10% 증대 시 1백만원/RT
상용화 능력 및 자원 보유	o 지속적인 장비 및 전문인력에 대한 교육 및 투자 년간 1억
상용화 계획 및 일정	o 연구종료 후 3년 30억/년 이윤창출

(4) 사업화 모형 제시

(가) 사업화 모형 수립(BM) 배경

① 이번 연구개발의 대상은 지열정 페어링 및 지하수 연동제어기술을 활용한 기술로 국내의 개방형 지열시스템 의 설치구간인 암반대수층의 대수성수리특성을 고려한 기술임

② 따라서 국내 및 국외에서도 결정질암반을 대상으로 하는 지역에서는 낮은 효율의 개방형 지열시스넴을 상대적으로 높은 기술로 적용할 수 있음

③ 간단한 병렬식 수평페어링 기술을 적용하여 효율이 낮은 기존시설의 보완이 가능하여 상대적으로 낮은 금액으로도 사업화가 가능

(나) 사업화 모형의 목표 및 핵심 경쟁 요인

① 사업화 모형의 목표



② 핵심 경쟁요인

구분	경쟁자의 전략	자사 대비 강점	자사 대비 약점
개방형 시공 업체	• 수직밀폐형 대비 저비용, 고효율 에너지공급	• 개방형 시공경험이 상대적으로 풍부 • 기존 영업 네트워크 확보 및 시장선점	• 지중열교환기의 수리특성에 대한 접근성 전무 • 지중열교환기 설치기술의 낮은 접근성 • 장심도 굴착시 경험미숙에 따른 낮은 완성도
밀폐형 시공 업체	• 정부시책에 의한 원활한 지원사업 • 수주가 용이한 소규모 지열시공 적용	• 밀폐형 시공경험 상대적으로 풍부 • 기존 영업 네트워크 확보 및 시장선점	• 개방형 및 기존기술과의 융합기술 미흡 • 지하수의 개념적 접근 이외의 낮은 경험도
히트펌프 공급 업체	• 단편적 제품판매 위주	• 히트펌프 제작능력 및 시설보유	• 효율개선의 중요한 요인인 지중시설에 대한 이해 부족 • 지중 및 지상시스템의 융합시공능력 부족

(다) 목표 시장 구조

① 경쟁 기업 현황

업체명	등록번호	주소	실적
삼양에코너지(주)	2005-0034	서울특별시 종로구 산일대로 461(경운동) 102동	주택지원:799KW 자체사업:4,129KW 건물지원:2,719KW
(주)조은에너지	2006-0072	서울특별시 여등포구 당산로38길 9-3(당산동)	주택지원:647KW 건물지원:768KW 설치의무화:5,689KW 발전차액:299KW
코텍 엔지니어링(주)	2006-0113	경기도 안양시 동안구 학의로 268(관양동)메가빌딩	주택지원:312KW 설치의무화:22,033KW

② 시장 진입 장벽

㉮ 국내 개방형보급사업의 다양한 시공기술 접근성 미흡

- 최근 개방형 지열시스템의 공급이 늘고 있으나 시설의 약 80% 이상을 밀폐형 지열시스템임
- 개방형지열시스템의 수리특성에 따른 후보지역 선정이 어려움 이유로 정부의 지원사업에서 제외됨

㉯ 국내 지열시장의 폐쇄성

- 신·재생에너지 보급사업과 관련하여 개방형 지열시스템은 신청기준, 수행지침, 제출서식 등 밀폐형 지열시스템에 비해 상대적으로 어려움
- 개방형지열시스템의 다양한 시공기술의 시도가 허용되고 있지 않음

(라) 수익 확보 전략

① 주요 고객군

㉮ 개발예정 기술은 암반대수층을 대상으로 하는 개방형지열시스템에 설치되는 시스템중 이방성이 뚜렷한 시설물에 적합한 시스템으로 신규대상 고객과 기존 이방성으로 효율이 저하되어 있는 기존시설 고객을 목표로 하고 있음

㉯ 잠재 고객군은 향후 범용시스템 적용을 통해 에너지절감 효과를 기대하고 있는 시설물로써 축산농가, 양식장, 건축물(제로에너지건물 등), 농공단지 등이 해당

㉰ 신기술 신청 및 연구 종료 후 신기술 획득으로 정부출연기관 및 기타 신규사업에서 사업수주 우선권을 획득, 사업성 확대 가능

구분	선정 사유	제품에 대한 고객 요구 사항/수준	고객 요구사항에 대한 대응방안
우선고객군	• 좁은 사업면적으로 밀폐형 지열시스템을 적용하기에 부족한 설치면적을 보유한 시설 • 높은 효율이 필요한 시설임에도 이방성에 의해 낮은 효율의 시스템을 적용하여야 하는 시설	• 설치비절감 • 높은효율 • 용수의 공넘김이 없는 안정적 운영시스템 • 지열설치공간의 최소화	• 지열정 페어링 및 지하수 연동제어기술을 활용한 평균이네지 효율 증가기술 적용 • 시공심도의 다양화로 인한 시공비 절감 및 경제성 확보
잠재고객군	• 높은 효율의 냉난방 수요가 필요한 시설(축산용, 양식용, 생활용수 등) • 기존시설 중 에너지 효율이 낮은 다공형 개방형지열시스템	• 현시스템의 에너지 효율 제고 및 보완 • 지열히트 펌프 굴착심도의 축소	• 에너지효율 증대 가능 • 지속적 개방형지열시스템의 운용 가능

㉱ 목표 고객별 판매 전략

목표고객	해당기업 (기업명)	판매 전략
고객군1	한국농어촌공사 및 대규모 단지조성 설계 회사	• 성과공유과제 연계 : 높은 효율의 지열시스템 이용방안 모색 • 농어촌공사 시범사업 및 대규모 단지조상을 통한 기술의 신뢰도 확보 • 국가지원사업 연계 : 친환경 에너지 보급사업 등
고객군2	시설재배, 축산농가, 양식장 등 대규모 시설단지	• 기존시설의 효율저하에 대한 시설중점 점검 및 장점홍보 • 농가지원관련 세미나 및 정책회의 참여 기술소개 연계 유도

② 사업화 모형(BM)을 통한 수익 창출 방안

㉮ 사업이 본 궤도에 오르기까지 당사의 약점을 보완하기 위해 투자를 통한 역량제고 및 아웃소싱을 활용할 계획임

㉯ R&D분야에서 지중설비 및 지상설비와의 연계성에 대해서는 본 연구를 통해 성과도출이 기대되며, 지상설비 개량에 대한 연구는 지속적으로 수행할 필요 있음

㉰ 개발기술의 지상설비를 담당할 업체 및 기술의 판매전략을 위해 관련협회 및 업체와 협력체계를 구축할 필요가 있음

구분	R&D	생산	영업
외부	• 외부전문가와 협동 연구 • 성과공유과제를 수행하는 정부투자기관과의 네트워크를 구성 시스템 홍보	• 지상시설설치 업체 및 개방형지열시공업체와의 협업체계 구성	• 밀폐형 지열업체 및 개방형 지열 업체와의 긴밀한 관계유지 • 개방형지열업체 및 지열관현 협회와의 관계유지
내부	• 신규비즈니스 관련 전문가 채용 • 유사 연구경험자를 중심으로 네트워크구축 및 신규인력채용	• 지중열교환기 생산 및 자재관리팀 구성 • 지열공, 지중열교환기 시공팀 구성 및 보완	• 지열분야 영업인력 육성 • 설비설계 경력이 있는 인력으로 기술영업

6. 연구과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

가. 국외 지열냉난방시스템 관련 기술개발 동향

구 분	기술개발 내용
시스템 고효율화 및 대용량화	• 시스템 최적 설계 및 통합 제어 기술
열원 다변화 및 요소기술 성능 향상	• 하이브리드 시스템 설계 및 제어 기술
친환경 냉매 및 그린건축물 적용 기술	• 친환경 냉매 적용 지열 열펌프 유닛 기술
지열원 이용 집단 에너지 공급 기술	• 복합 열원 활용 집단 에너지 공급 기술

나. 지열냉난방시스템의 핵심부품 제조사

부품	국가	제조사
압축기	미국	코퍼랜드
	일본	미쓰비시
열교환기	스웨덴	알파라바
	덴마크	APV

(1) 2013년 기준 국외 지열냉난방시스템 시장은 약 15조 4천억~16조 원 규모임(산업통상자원부, 2014). 국외 시장 중에 미국이 약 11조원, EU를 포함한 기타 국가들이 약 5조원을 점유하고 있으며 향후 미국을 중심으로 지속적으로 성장할 것으로 전망됨(산업통상자원부, 2014)

(2) 국외 지열냉난방시스템 시장은 미국, 스웨덴, 스위스, 독일, 캐나다, 오스트리아를 중심으로 형성되어 있으며 이 중에 미국의 시장 규모가 가장 큼(Goetzler et al., 2009)

7. 연구개발성과의 보안등급

보안등급 분류	보안	일반
		√
결정 사유		

8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비현황

국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황 – 해상사항 없음

구입기관	연구시설·장비명	규격(모델명)	수량	구입연월일	구입가격(천원)	구입처(전화)	비고(설치장소)	NTIS 등록번호
– 해당사항 없음								

9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행 실적

가. 연구실 안전조치 이행

(1) 연구실 안전체계 수립 및 안전점검

(가) 연구실 안전 점검 및 안전진단 연간 실시

① 예방위주의 자체 안전교육 매뉴얼 제작 및 연구실 항시 배치

② 월 1회 이상 안전점검 실시

③ 합동 및 자체 소방훈련 계획 수립 및 실시 (연 2회)

④ 자체 안전의식 고취 및 안전활동 전개

⑤ 자체 점검 및 외부 전문기관 의뢰 안전 점검 실시 후 점검결과에 대한 개선 조치 시행

⑥ 예방위주의 자체 안전교육 매뉴얼 제작 및 연구실 항시 배치

(나) 연구실 안전 점검 및 안전진단 연간 실시

① 예방위주의 자체 안전교육 매뉴얼 제작 및 연구실 항시 배치

② 월 1회 이상 안전점검 실시

③ 합동 및 자체 소방훈련 계획 수립 및 실시 (연 2회)

④ 자체 안전의식 고취 및 안전활동 전개

⑤ 자체 점검 및 외부 전문기관 의뢰 안전 점검 실시 후 점검결과에 대한 개선 조치 시행

⑥ 예방위주의 자체 안전교육 매뉴얼 제작 및 연구실 항시 배치

(다) 실험실 안전시설 등 설비 가동 확인

① 소화기 비치 여부, 가스 감지기 및 경보기 작동 점검

② 개인별 보호구 적정량 확보 점검

③ 일일 안전 점검 기록표 작성

④ 실험실 내 고글, 마스크, 장갑 등 개인 보호장구 사용 의무화

(라) 화약약품 관리 규정에 의거한 시약 및 실험용 약품 관리

① 자체 제정 및 시행 중인 본 연구기관의 화학약품 관리 규정에 의거하여 화학약품 취급 및 관리

② 약품 누출 시 관리 규정에 의거 화학약품별 대응

③ 화학약품 실험 후 폐액의 경우, 성상 및 성분별 분리 저장

④ 분리 저장된 폐시약은 전문 수거업체에 위탁하여 처리

(2) 연구실 안전교육 실시

(가) 안전사고 발생 시 대응 방안 수립 및 교육

① 직원별 임무 부여

② 안전사고 발생 시 대응, 대피, 진압 요령 교육

③ 안전사고 발생 시 신속한 보고체계 확립 및 유관기관과 비상연락체계 수립

10. 연구과제의 대표적 연구실적

번호	구분 (논문/특허/기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/특허 등록국가	영향력 지수	논문 게재일/특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	논문	개방형 지열 시스템 설계법 개발을 위한 관정 주위 지중 온도 환경 검토	부산대학교 산학협력단	위탁	한국지열에너지학회논문집	0.32	2017.08.04	단독사사	
2	논문	복수정 페어링 기술을 이용한 개방형 지열 시스템의 수리적 타당성 검토	부산대학교 산학협력단	위탁	한국생태환경건축학회논문집	0.33	2017.08.04	단독사사	
3	논문	관정간 도수통로를 설치한 개방형 지열 시스템의 냉방성능 실험	지지케이	주관	설비공학 논문집	0.46	2018.09.20	단독사사	
4	논문	실증실험에 근거한 관정간 페어링 적용 개방형 지열 시스템의 난방성능 분석	지지케이	주관	한국생태환경건축학회 논문집	0.33	2018.04.04	단독사사	
5	논문	개방형 지열공의 페어링기술 적용을 위한 수리지질학적 연구	지오엔지니어링	공동	지질학회지	0.44	2018.04.28	단독사사	
6	논문	Development of a Multi-Well Pairing System for Groundwater Heat Pump Systems	지지케이	주관	energies	2.707	2018.12.13	단독사사	SCI

번호	구분(논문/특허/기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일/특허 등록일	사사 여부(단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항(SCI 여부/인용 횟수 등)
7	특허	더블렛하우징을 포함하는 투웰방식 개방형 지열시스템	지지케이	주관	대한민국		출원중	단독사사	
8	특허	더블 지중열교환기의 호환 운전 제어기술이 구비된 지열냉난방시스템	지지케이	주관	대한민국		출원중	단독사사	
9	시방서	복수의 지열정페어링 지중열교환기 설치 시방서	지지케이	주관					시방서 및 도면작성
10	시험성적서	개방형 지중열교환기 지열시스템 효율비교	지지케이	주관					에너지효율 비교
11	원가분석보고서	복수의 지열정페어링 및 지하수연동제어 기술을 활용한 지중열교환 효율 증대기술 연구 신기술 원가분석에 대한 예정원가 보고서	지지케이	주관					공사비 비교

가. 시공비 절감 효과

(1) 한국산업경제연구원을 통해 동일한 부하면적에 공급되는 25RT지열시스템 설치시 달라지는 부분인 굴착부분에 대한 굴착비에 대한 공사비 비교분석결과 기존 공사 대비 계절가변형 굴착시스템이 12.32% 감소되는 것으로 조사되었으며, 이를 통해 연구시설을 적용한 지열시스템 설치시 공사비 및 공사기간 단축을 기대할 수 있음.

Ⅰ. 연구과제 원가분석 총괄표

○ 연구과제명 : 복수의 지열정 폐어링 및 지하수연동제어기술을 활용한 지중열교환 효율 증대기술 연구

○ 주관연구기관 : ㈜지지케이

단위 : 원/공

구 분			기존 SCW공법 (A)	연구기술공법 (B)	대비(%) (B/A)	비 고 차액(B-A)
품 명			T.S 접합	열융착 접합		
규 격			PVC 파이프 Ø140mm×500m	HDPE 파이프 Ø75mm×500m		
원가항목	가.	직 접 재 료 비	28,248,067	25,588,528	90.59%	-2,659,539
	순공사비	직 접 노 무 비	59,777,612	49,500,085	82.81%	-10,277,527
		기 계 경 비	25,236,875	18,920,546	74.97%	-6,316,329
		소 계	113,262,554	94,009,159	83.00%	-19,253,395
	나.	간 접 노 무 비	7,531,979	6,237,010	82.81%	-1,294,969
	다.	경 비	15,857,692	13,319,451	83.99%	-2,538,241
	라.	일 반 관 리 비	8,199,133	6,813,937	83.11%	-1,385,196
	마.	이 윤	17,490,493	14,218,654	81.29%	-3,271,839
	바.	자 재 비	6,900,000	13,800,000	200.00%	6,900,000
	사.	총 원 가	169,241,851	148,398,211	87.68%	-20,843,640
	아.	부 가 가 치 세	16,924,185	14,839,821	87.68%	-2,084,364
	합 계 (사 + 아)		186,166,036	163,238,032	87.68%	-22,928,004
평 가	연구과제기술은 기존공법의 시공성 및 안전성 문제를 해소하기 위한 맞춤형 공법으로 지열공내 지하수순환 설비 외경을 줄여(PVC OD:Ø140→HDPE Ø75) 보어홀과의 간격을 최적화 하는 한편, 시공성과 수밀성이 유리한 Roll-Type 고밀도 HDPE 재질로 대체하여 설비 안정성을 확보하고, 굴착심도를 250M로 감소하여 굴착난이도 및 고심도 굴착시 발생하는 할증비를 최소화. 상시 인발재생정비 및 청소가 가능한 구조로서 시설의 기능적 수명 연장 및 유지관리 편리성을 확보하고, 특히 기존기술과 환수의 열교환시점(Recharge-end)이 반대인 상향 순환 방식(Bottom-Up)의 열교환시스템을 채택하여 열교환 효율을 향상시킨 공법으로, 기존공법 대비 -22,928,004원 (12.32%)의 원가가 절감되는 것으로 분석되었습니다.					

2019년 3월 22일

원가계산용역기관 : (사)한국산업경제연구소 이 사 장 장 현 우 (인)

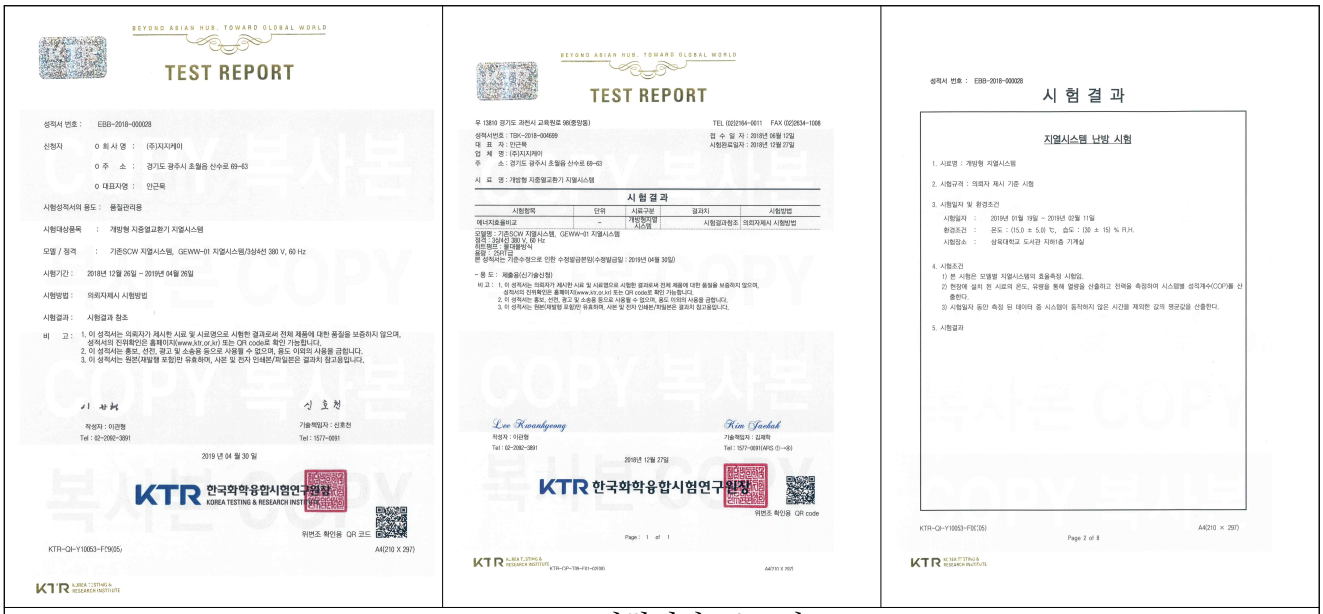
책임연구원 현 석 조 (인)

- 2 -

원가분석 비교 결과표

나. 에너지효율 증대

(1) 한국화학융합시험연구원(KTR)의 분석결과 하절기 18%, 동절기 5% 향상된 것으로 조사 되었으며, 냉방기간이 난방기간보다 길고, 냉방부하가 난방부하보다 높기 때문에 이를 적용한 건축물에서는 유지비 절감효과가 더 크게 나타날 것으로 예상됨.이는 향후 연구시설에 적용된 개방형 지열시스템 적용시 에너지 절감효과를 볼 수 있을 것으로 예상됨.



TEST REPORT

성적서 번호 : EBB-2018-000028

시험기간 : 2018년 12월 26일 ~ 2019년 04월 26일

2019 년 04 월 30 일

KTR 한국화학융합시험연구원장

TEST REPORT

시 험 결 과

시험항목	단위	시료구분	결과치	시험방법
에너지효율비교	-	개방형지열시스템	시험결과참조	의뢰자제시 시험방법

2019년 12월 27일

KTR 한국화학융합시험연구원장

시 험 결 과

지열시스템 난방 시험

KTR-QI-Y10053-F(16)

KTR-QI-Y10053-F9(05)

KTR 한국화학융합시험연구원

KTR 한국화학융합시험연구원

KTR 한국화학융합시험연구원

11. 기타사항

12. 참고문헌

· B.O. Shim, C.-H. Park, Ground thermal conductivity for (ground source heat pumps) GSHPs in Korea, 2013, Energy 56, pp.167-174.
· S. Kavanaugh, K. Rafferty, Geothermal Heating and Cooling Design of Ground-Source Heat Pump Systems, ASHRAE, 2016, ISBN 978-1-939200-88-4
· 한국에너지관리공단 신재생에너지센터(2017) 신재생에너지센터 공고 제 2018-1 신재생에너지설비의 지원 등에 관한 지침 p.49
· 김남주 외(2012) 개방형 지열 냉난방시스템의 효율저하 원인 및 관리요령, 산업통상자원부
· 남유진(2013) 개방형 지중열교환기 설계 및 시공 기준, 지열에너지저널 제9권 제3호 p.61-66
· 서운종, 김도규 (2008) 지열시스템의 보급실태와 활성화를 위한 제안, 지열에너지저널 제4권 제 4호 p. 27-30

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.

2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.