11TRPI-C057631-01

지하수자원을 이용한 개방형 지중열교환기의 안전성·기능성 및 유지관리 효율성 확보기술 개발

2013 . 4. 1.

주관연구기관 / ㈜지지케이

위탁연구기관 / 중원대학교 산학협력단

국 토 해 양 부

한국건설교통기술평가원

Land Transpot and Maritime R&D Report

11TRPI
-C0576
31-01

지하수자원을 이용한 개방형 지중열교환기의 안전성·기능성 및 유지관리 효율성 확보기술 개발

2013

한국건설교통평가원
국토해양부

제 출 문

한국건설교통기술평가원장 귀하

이 보고서를 "건설교통 R&D정책 인프라사업에 관한 연구"과제(세부과제 "지하수자원을 이용한 개방형 지중열교환기의 안전성·기능성 및 유지관리 효율성 확보기술 개발에 관한 연구")의 보고서로 제출합니다.

2013 . 04. 01.

주관연구기관명 : ㈜지지케이
주관연구책임자 : 황 기 섭
연 구 원 : 안 근 묵
" : 이 강 석
" : 우 문 성
" : 하 성 태
" : 김 주 영
" : 이 영 휘
" : 전 운
" : 손 동 현
" : 조 성 준
위탁연구기관명 : 중원대학교 산학협력단
협동연구책임자 : 김 형 수
" : 이 강 석
" : 우 문 성
" : 하 성 태
" : 김 주 영

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요 ····· 1

제 1 절 연구개발의 목적 ····· 1

제 2 절 연구개발의 필요성 ····· 2

제 3 절 연구개발의 내용 및 범위 ····· 3

제 2 장 국내외 기술개발현황 ····· 6

제 1 절 국내지열시스템의 현황 ····· 6

제 2 절 국외지열시스템의 현황 ····· 7

제 3 절 국내외 특허 동향 ····· 9

제 4 절 국내 정부지원정책 현황 ····· 10

1. 관련법령, 정부 정책 및 담당기관 ····· 10

2. 정부지원 정책사업 종류와 현황 ····· 11

3. 정부지원 정책사업 현황 조사의 결론 ····· 12

제 5 절 국내 연구 동향 ····· 13

1. 유사 연구개발사업의 조사 및 검토 ····· 13

제 6 절 개방형지중열교환기 구축의 이론적 접근방법 ····· 16

1. 지열냉난방시스템의 개요 ····· 16

2. 개방형지중열교환기의 굴착 ····· 19

3. 지하수법상 지열시스템관련 규정 ····· 22

제 3장 연구개발수행 내용 및 결과 ····· 24

제 1 절 개방형지중열교환기 개발 및 현장적용 ····· 24

1. 연구개발의 개요 ····· 24

2. 연구개발의 구성 및 내용 ····· 25

3. 개방형 지중열교환기의 현장적용 ····· 41

4. 개방형 지중열교환기의 현장적용 결과 ····· 80

제 2 절 지중열교환기 온도모니터링기술 개발 및 현장적용 ····· 84

1. 심도에 따른 온도 측정장치 제작 ····· 84

2. 온도모니터링 시스템 구축 ····· 88

3. 지중열교환기 심도에 따른 온도모니터링 결과 ····· 89
제 3 절 지열 평가 수치 모델링 기법 구축(지열수주정(SCW) 방식을 중심으로) ····· 94
1. 평가에 사용된 수치모델 ····· 94
2. 수치 모델링 개요 ····· 96

제 4 절 개방형지중열교환기 시방서 ····· 111
1. 히트펌프의 제작 및 설치공사 ····· 111
2. 2ND 열교환기의 제작 및 설치공사 ····· 114
3. 펌프의 제작 및 설치공사 ····· 115
4. 모터 ····· 116
5. 개방형 지중열교환기 설치 ····· 117
6. 기계실 배관공사 ····· 118
7. 배관의 시험 ····· 109

제 4장 연구목표달성도 및 관련분야에 기여도 ····· 123
제 1 절 연구개발 추진전력 및 방법 ····· 123
1. 연구개발 추진체계 ····· 123
2. 연구개발 수행진도율 ····· 124
3. 연구개발 목표의 달성도 ····· 125
4. 연구개발의 성과목표 및 실적 ····· 126
5. 연구개발의 성과 ····· 127
6. 기술료 납부 계획 ····· 129

제 5 장 연구개발결과의 활용계획 ····· 130

제 6 장 참고문헌 ····· 132

부 록 ····· 133

그 림 목 차

[그림 1-1] 충적층 대수층 지열 시스템 및 멀티웰 개방형 지열시스템 ····· 6
[그림 1-2] 강변여과수 활용 개방형 지열시스템 및 SCW형 지열시스템 ····· 7
[그림 1-3] 세계에서 가장 큰 형태의 개방형 지열시스템의 하나인 Galt House hotel Louisville, KY, USA ····· 8
[그림 1-4] 스웨덴 Arlanda 국제공항 개방형 지열시스템 설치를 위한 수리지질 특성 파악 및 모델링 및 조감도 ····· 9
[그림 2-1] 열전달유체의 순환방식에 의한 지열 냉난방시스템의 분류 ····· 17
[그림 2-2] 지열펌프 시스템의 난방주기 모식도 ····· 19
[그림 2-3] 굴착 유형-천공방법에 따른 분류 ····· 20
[그림 3-1] 지중열교환기의 친환경 기능성 확보기술 ····· 24
[그림 3-2] 지하수자원의 순환경로를 최적화하는 개방형지중열교환 구성도 25
[그림 3-3] 개방형 지중열교환기의 보호 및 유체순환장치 구성도 ····· 26
[그림 3-4] 기존 지중열교환기 상부보호 시설 전경 ····· 27
[그림 3-5] 지열용 상부보호 시설 개략도 ····· 27
[그림 3-6] 시범시설 대상지 위치도 ····· 41
[그림 3-7] 대상건물 전경 ····· 42
[그림 3-8] 지중열교환기 굴착 위치 ····· 42
[그림 3-9] 시범시설 대상지 지하수공 위치 ····· 43
[그림 3-10] 기설치된 관정 및 잠재오염원 위치 ····· 46
[그림 3-11] 시범시설 대상지 지질도 ····· 47
[그림 3-12] 지구물리탐사 위치도 ····· 48
[그림 3-13] 지중열교환기 위치도 ····· 51
[그림 3-14] Direct air-rotary 및 DTH을 이용한 굴착 전경 ····· 56
[그림 3-15] 개방형 지열교환기의 위치선정 및 시험공 위치선정 ····· 57
[그림 3-16] 개방형 지열교환기 최종시공 위치도 ····· 57
[그림 3-17] 시험공(1호공) 표토부 굴착작업 ····· 59
[그림 3-18] 시험공(1호공) 암반부 굴착작업 ····· 60
[그림 3-19] 기존 개방형 지열중교환기(A타입) 시스템(SCW) ····· 68
[그림 3-20] 개발 개방형 지열중교환기(B타입) 시스템 ····· 69
[그림 3-21] 지열중교환기 4호공 위치도 ····· 70
[그림 3-22] A타입 지중열교환기 내부보호관(PVC 파이프) 설치 공사 ····· 73
[그림 3-23] A타입 지중열교환기 양수시설물 설치 공사 ····· 74
[그림 3-24] 지열중교환기 2호공 위치도 ····· 75
[그림 3-25] [B타입 지중열교환기 주입관(PE 파이프) 설치 공사 ····· 78
[그림 3-26] B타입 지중열교환기 양수시설물 설치 공사 ····· 79

[그림 3-27] 지중열교환기 상부보호시설의 설치 공사 ····· 80

[그림 3-28] 아이버튼(좌측) 및 어댑터(우측) ····· 71
[그림 3-29] 심도별 온도 측정장치 개략도 ····· 87
[그림 3-30] 심도별 온도 측정장치 개발 ····· 87
[그림 3-31] 모니터링 센서 설치 개략도 ····· 88
[그림 3-32] 지중열교환기 취수부와 기계실 판형열교환기 입구의 온도비교 89
[그림 3-33] 지중열교환기 심도별 온도비교(2013년 1월 10일) ····· 90
[그림 3-34] 지중열교환기 심도별 온도비교(2013년 1월 11일~15일) ····· 90
[그림 3-35] 2번 지열공의 온도 복원 ····· 91
[그림 3-36] 4번 지열공의 온도 복원 ····· 91
[그림 3-37] 개발 및 기존 개방형지중열교환기의 원수온도와 순환유량원 ····· 92
[그림 3-38] 4번 지열공의 온도복원 ····· 92
[그림 3-39] IFD(Integral Finite Difference) 기반 수치 모델에서의 격자 요소의 특징 ····· 94
[그림 3-40] 수직개방형 지중열교환기의 설계도 ····· 96
[그림 3-41] 수치 모델링 영역의 개요 ····· 98
[그림 3-42] 기존 방식의 수직 개방형 지중열교환기(type a)의 개념 모델 및 격자 요소 개요. ····· 98
[그림 3-43] 새로운 방식의 수직 개방형 지중열교환기(type b)의 개념 모델 및 격자 요소 개요. ····· 99
[그림 3-44] 대표 경우 type a(왼쪽 열)와 type b(오른쪽 열)에 대한 (a), (b) 1시간 후, (c), (d) 1일 후, (e), (f) 30일 후의 주변 지층에서의 지온 분포. ····· 102
[그림 3-45] 대표 경우 지중열교환기 내에서의 지하수의 온도 변화 : (a) type a, (b) type b. ····· 103
[그림 3-46] type a에 대한 30일 후 주변 지층에서의 지온 분포 : (a) Case A-1, (b) Case A-2, (c) Case A-3, (d) Case A-4, (e) Case A-5. ····· 104
[그림 3-47] type b에 대한 30일 후 주변 지층에서의 지온 분포 : (a) Case A-1, (b) Case A-2, (c) Case A-3, (d) Case A-4, (e) Case A-5. ····· 105
[그림 3-48] type a에 대한 유입수(inflow)와 유출수(outflow)의 시간에 따른 온도 변화 : (a) Case A-1, (b) Case A-2, (c) Case A-3, (d) Case A-4, (e) Case A-5. ····· 106
[그림 3-49] ype b에 대한 유입수(inflow)와 유출수(outflow)의 시간에 따른 온도 변화 : (a) Case A-1, (b) Case A-2, (c) Case A-3, (d) Case A-4, (e) Case A-5. ····· 107

[그림 3-50] type a에 대한 30일 후 주변 지층에서의 지온 분포 : (a) Case A-1, (b) Case A-2, (c) Case A-3, (d) Case A-4, (e) Case A-5. …… 108
[그림 3-51] type a에 대한 30일 후 주변 지층에서의 지온 분포 : (a) Case A-1, (b) Case A-2, (c) Case A-3, (d) Case A-4, (e) Case A-5. …… 108
[그림 3-52] type a에 대한 유입수(inflow)와 유출수(outflow)의 시간에 따른 온도 변화 : (a) Case B-1, (b) Case B-2, (c) Case B-3, (d) Case B-4. …… 109
[그림 3-53] type b에 대한 유입수(inflow)와 유출수(outflow)의 시간에 따른 온도 변화 : (a) Case B-1, (b) Case B-2, (c) Case B-3, (d) Case B-4. …… 109

표 목 차

[표 2-1] 대표적인 지열시스템의 유형별 특성 ····· 17
[표 2-2] 우물 굴착 방법별 장단점 비교 ····· 21
[표 3-1] 지하수 이용계획 ····· 43
[표 3-2] 2011년 5월 지하수 영향조사결과 ····· 44
[표 3-3] 기존 지하수공의 제원 ····· 44
[표 3-4] 기설관정 현황표 ····· 45
[표 3-5] 간이수질 측정결과 ····· 45
[표 3-6] 지하수탐사법 ····· 48
[표 3-7] 지중열교환기 제원 ····· 40
[표 3-8] 설치위치 별 모니터링 센서 ····· 91
[표 3-9] 수치모델링에 사용된 물성치 ····· 99
[표 3-10] 고유투수계수에 따른 유입수(inflow)와 유출수(outflow)의 온도차이. ····· 106
[표 3-11] 유입수(inflow)와 유출수(outflow)의 수량에 따른 온도차이 ····· 110

제1장 연구개발과제의 개요

제1절 연구개발의 목적

○ 지하수자원을 이용한 개방형지중열교환기 시스템은 지하수 자원을 냉난방의 에너지원으로 이용하는 지열냉난방시스템의 주요구성요소인 지중열교환기의 개발기술로, 관련설비의 안전성 및 기능성 확보로 유지•관리 효율성을 증대시킴으로써 지하수자원을 이용하는 개방형 지열냉난방시스템의 경제성 및 신뢰성을 도모하는데 목적을 두고 있다. 이를 위해 본 연구개발에서는 개방형지중열교환기의 설치시공이 간편하며, 외부오염방지, 시설물 동방방지 및 사후관리가 용이한 개방형지중열교환기를 개발하였다.

○ 기존 개방형지중역교환기 상부보호시설은 콘크리트 맨홀형태로 외부에서 오염물질이 유입되어 지하수를 오염시키고, 맨홀 내부의 습기에 의한 시설물 부식, 겨울철 동파위험, 해충•먼지로 인한 장비이상의 위험성 높다. 이러한 기존 맨홀형태의 상부시설의 문제들을 해결하기 위해서 안전성과 기능성을 확보한 개방형 상부보호기술을 개발하였다.

○ 기존 개방형 지중열교환기는 지열공 전구간에 설치한 PVC파이프를 설치하여 열복원 효율을 확보하는 구조이다. 그러나 지하수 순환경로의 어느 구간에서 조금만 훼손되더라도 지하수 순환체계가 깨져 열효율이 감소하고, 공벽에서 유실된 암석 및 암분에 의해서 PVC파이프 하단부에 스트레이너가 막히는 경우 지하수순환이 중단되며 개선조치 및 유지관리가 불가능하여 지열공의 기능을 상실하는 문제가 있다. 이러한 기준 지열공 내부보호관(PVC 파이프)으로 인하여 발생하는 문제들을 해결하기 위해서 암반나공 상태의 지열공에서 지하수순환경로를 최적화하여 안정된 열효율을 유지하는 한편, 공벽에서 유실된 암석 및 암분에 의해서 지하수 순환이 중단되는 하자발생 원인을 근본적으로 차단하여 지열공의 안전성을 확보하였으며 필요할 경우 정비 및 청소 등 개선조치 가능하도록 하였다.

○ 또한 지중열교환기의 내부에 50m간격으로 온도센서(아이버트; i-button) 설치하여 심도별 온도를 측정하였다. 이는 열복원 효율과 생산 열량을 측정하여 지중열교환기의 성능과 개방형 지중열교환기의 신뢰성 확보하는 목적으로 연구를 진행하였다.

○ 개발된 개방형 지열교환기의 운영으로 인한 주변 지하수 흐름 및 온도변화에 미치는 영향을 예측함으로써 개방형지중열교환기의 효율성과 지속성을 정량적으로 평가를 목적으로 TOUGH2 (Pruess et al., 1999)를 이용하여 수치모델을 개발하였다.

제2절 연구개발의 필요성

○ 최근 전 세계적으로 에너지 자원이 점차 고갈되어 가는 시점에서 최근의 이라크 사태로 인해 에너지 가격이 급등하고 있는 추세이며, 대체에너지 개발 및 에너지 재활용은 매우 시급한 과제라 할 수 있다. 특히, 최근 10년간 우리나라의 에너지 소비는 매년 약 10%라는 경이적인 증가율을 보이고 있기 때문에 연료전지, 태양에너지, 해양에너지, 지열(geothermal)에너지 등 대체 에너지 개발의 필요성이 크게 대두되고 있는 실정이다.

○ 우리나라의 평균기온은 여름철과 겨울철이 큰 차이가 있으나 지중온도는 그 차이가 작으며, 심도가 깊어질수록 온도변화 차이가 작아진다. 지중을 흐르는 지하수의 경우 지표의 열을 직접 옮기는 요인이 될 수 있으나 지하수 함양과정에서 지중온도와 열평형이 될 것으로 보인다. 즉, 지하수의 시간에 따른 온도 변화는 거의 없을 것으로 생각할 수 있다. 실제 국내 지하수의 연평균 수온이 14~16℃(한정상 외, 2005) 이며, 그 변화폭은 대기 온도에 비해 상대적으로 매우 작다고 알려져 있다. 이 점을 이용하여 여름에는 대기의 열을 지중에 방출하고, 겨울에는 지중의 열을 대기에 방출하는 것이 지열 냉난방시스템의 기본 개념이다. 지금까지는 화석연료를 이용한 냉난방을 이용하고 있지만 고유가 및 화석연료 사용에 따른 온실가스이 발생, 화석연료의 고갈이라는 세계적인 문제에 직면한 상태이다. 미국과 일본을 비롯한 다른 나라에서는 이에 대한 해결책으로 신·재생에너지의 연구가 진행되고 있으며 지열에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다. 우리나라의 경우 약 10년 전부터 지열에 대한 연구가 시작되어 그 성과가 미비한 실정이다.

○ 지열시스템의 설계 및 시공기술의 해외 의존도를 낮추고, 토지활용도 및 건물밀집도가 높은 지역에 적합한 대용량 지열시스템 개발이 필요하다(초고층 건물, 공동주택 등의 에너지 다소비 건물 등). 또한 국내 지형에 적합하고 다변화된 대용량 지열원수 개발이 요구된다.

○ 개방형 지열시스템은 밀폐형 지열시스템과 비교하여 상대적으로 높은 열효율과 대용량 지열시스템 개발이 가능함에도 불구하고, 실용적 설치 및 산업화의 걸림돌이 되고 있는 주요 이유는 지중열교환기의 사용으로 발생될 수 있는 지하수의 오염문제, 현장에서 잦은 하자발생, 및 개선공사의 어려움, 등이 장애가 되어 개방형지열시스템 설치를 신뢰하지 못하고 있는 실정이므로 시설의 안전성과 기능성을 확보할 수 있는 새로운 개방형지중열교환기 설치기술의 개발과 보급이 시급히 요구되고 있다.

제3절 연구개발의 내용 및 범위

1. 연구개발의 목표

○ 설치시공이 간편하며 외부오염방지와 시설물 동파방지 및 사후관리가 용이한 개방형지중열교환기 개발

- 개방형지중열교환기와 그 내부 시설물이 외부 충격이나 오염으로부터 보호되고, 겨울철 시설물 동파를 방지하는 상부보호기술 개발

- 개방형지중열교환기 내에 설치하는 시설물이 간편하게 설치되거나 분리되는 기능으로 지하에 매설되는 지하수공급관과 지하수회수관에 자동 연락·연통되어 지하수순환체계를 자동으로 완성하는 설치·시공기술 개발

- 지하수의 수면시간을 연장하는 지하수순환경로의 최적화에 따른 열복원능력 확보기술의 개발

- 준공 후 편리한 유지·관리 및 하자발생시 개선작업이 가능하도록 하는 개방형지중열교환기의 안전성·기능성 및 경제성 확보기술의 개발

○ 지중열교환기 용량과 심도별 수중온도 변화를 측정하여, 지중열교환기의 열복원 효율과 생산 열량을 측정하여 지중열교환기의 성능과 개방형 지중열교환기의 신뢰성 확보를 위한 심도별 수중온도 모니터링 기술 개발

○ 열-수리학적 수치 모델은 TOUGH2 (Pruess et al., 1999) 활용하여 유지보수가 가능한 개방형지열교환기 공법 운영이 주변 지하수 흐름 및 온도변화에 미치는 영향을 예측함으로써 개방형지중열교환기의 효율성과 지속성을 정량적으로 평가기술 개발

2. 목표의 성격 및 설정 근거

○ **환경부 지열설비의 설치요령에 적합한 시설 구축**

- 개방형지중열교환기에 지하수법시행규칙 제5조(설치기준) 및 지하수의 수질보전 등에 관한 규칙 제2조(지하수오염방지시설의 설치기준)에 오염방지시설을 설치

- 지하수 이용에 따른 장단기적인 지반의 변형(공내붕괴 등)문제의 저감대책을 수립

- 지중열교환기의 정비, 점검 및 청소 등 효율적인 유지관리를 위한 시공기술 개발

○ 기존 개방형지중열교환기의 안전성 및 기능성 문제 해결

- 지하수취수공 내부 전구간에 설치되는 PVC파이프 손상시 발생하는 열복원 효율의 급격한 감소문제 해결

- 지하수취수공 내부에서 유실되는 암분·암석 및 암반대수층에서 지하수와 함께 흘러나오는 파쇄암석이 취수공 하부에 퇴적되어 지하수 이동경로가 차단되면서 개방형지중열교환기의 기능이 상실되는 문제 해결

○ 지열교환기의 오염방지 제품 개발

- 콘크리트 맨홀과 철판덮개로만 구성된 기존 지중열교환기 상부보호시설로 인해 나타나는 외부오염물질 유입에 따른 지하수 오염문제를 해결

- 동절기에 맨홀 내부 공간에 노출되는 양수시설물 훼손 및 동파문제를 내부결속 기술의 연구개발로 해결

3. 연구개발의 내용 및 범위

연 차	연구목표	연구개발내용 및 범위
1차년도	▪ 사전연구 - 기술개발 동향 - 기술개발 환경 분석	▪ 국내외 정책 · 시장 · 기술 동향분석 ▪ 기술수요 및 기술예측 조사 ▪ 기술개발 계획수립
	▪ Test-Bed 선정	▪ 개방형지중열교환기 설치에 적합한 지역 검토
	▪ Test-Bed 조사 및 평가	▪ Test-Bed 지중온도 변화 특성 조사 및 평가 ▪ Test-Bed 지역 구성 매질분포 및 기본물성 조사 ▪ 지하수 수질 특성분석
	▪ 시험 천공 및 열전도도 측정	▪ 지중토양 물성치 조사 및 분석 ▪ Test-Bed의 열용량 산출
	▪ 지하공간해석 수치 모델링 기법 구축	▪ 현장조사 자료 분석을 통한 Test-Bed의 개념 모델 설정 ▪ 다양한 시나리오(지질구조 및 투수계수, 추출/주입량의 변화)에 따른 모델 결과 제시
	▪ 개방형지중열교환기 설계 및 시방서 작성	▪ 기초 설계자료를 이용하여 개방형지중열교환기 설계 ▪ 개방형지중열교환기 관련 시방서 작성

연 차	연구목표	연구개발내용 및 범위
1차년도	▪ 개방형지중열교환기 구축	▪ 기존 개방형지중열교환기(SCW) 1공 구축 ▪ 개발 개방형지중열교환기 1공 구축 ▪ 관측공 2공 구축
2차년도	▪ 지하공간 다중온도 측정장치 구축 및 현장적용	▪ 수위에 따른 다중온도 측정장치 제작 (10m 단위 측정) ▪ 지중열교환기 및 관측공에 적용하여 수위별 실시간 온도 모니터링 실시
	▪ 지하공간해석 수치모델 표준화	▪ 수위별 온도변화에 따른 수치 모델 검증 ▪ 지중열교환기 장기 운전시 지하수 계절적 온도 변화 예측 ▪ 지중열교환기 장기 운전에 따른 주변 지하수 흐름 및 온도 변화 예측 및 검증
	▪ 개방형지중열교환기 표준시방서	▪ 개방형지중열교환기 시공에 따른 시방서 작성

제2장 국내외 기술개발 현황

제1절 국내 지열시스템의 현황

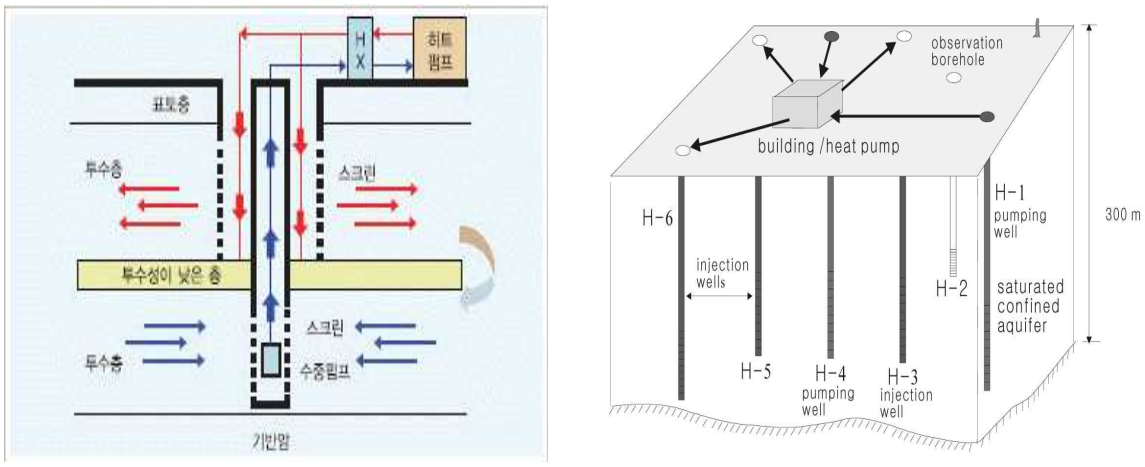
○ 국내에서는 천부 지열을 이용하는 폐회로형 (closed loop)을 중심으로 시스템이 보급되어 있으며 시스템의 대규모화 및 다양성을 통한 효율 증대를 위한 개방형 (open loop) 지열시스템 연구는 거의 없는 실정이다.

○ 국내 GSHP 시스템 설치비율은 80% 이상이 수직 폐회로형으로 추정되며, 나머지가 SCW 방식 및 수평형 순으로 보급되어 있다. 지열 시스템의 보급이 시작된지 약 10년 정도 되어 2010년 현재 700 여개 이상의 시스템이 보급되어 있는 것으로 추정되나 아직 개방형 지열시스템의 보급이 이루어지지 못하고 있다.

○ 국내 보급을 위해 정부에서 지원하는 제도가 아직 다양한 개방형 시스템을 수용하기 어렵기 때문이다. 그리고 국내 실정에 맞는 다양한 개방형 시스템의 제도적 또는 기술적 표준화가 되어 있지 않기 때문이다.

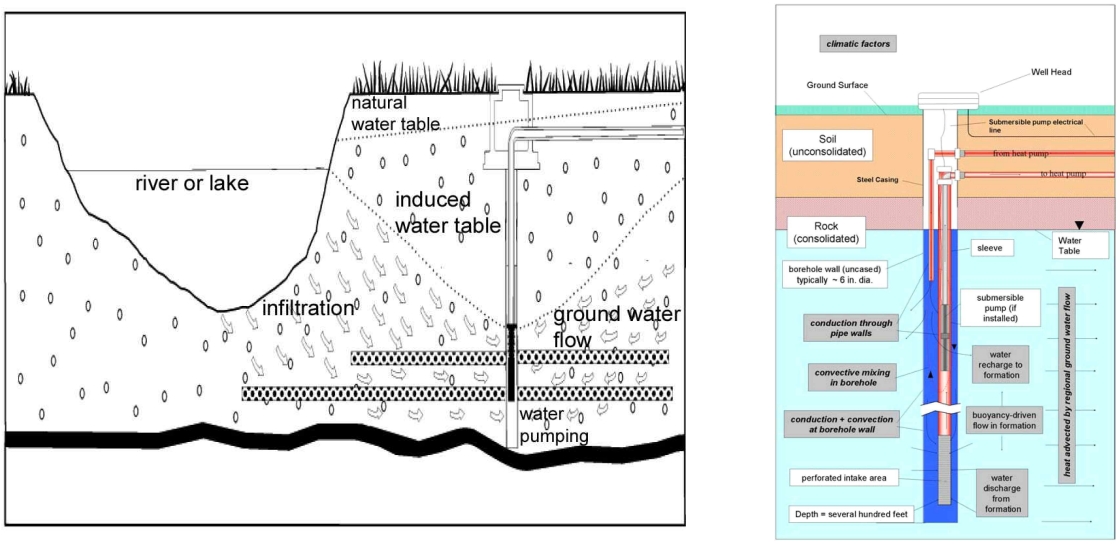
○ 국내 지질 및 지하수 환경은 개방형 시스템의 설치에 상당히 유리한 지역이 많아 에너지 효율성이 큰 개방형 시스템 설치가 가능한 곳이 많지만 국내 제도적 여건으로 인하여 실질적인 보급이 진행되지 못하고 있다.

○ 최근 대수층을 활용한 연구들이 추진되어 복수정을 이용한 대수층 지열 활용, 강변여과수를 이용한 지열 이용, ATES 방식과 충적층 지중열교환기 등의 실증 연구가 이루어졌으나 개방형 지열시스템의 기술개발 표준화가 늦어짐으로 보급단계로 진입하지 못하였다.



[그림 1-1] 충적층 대수층 지열 시스템 및 멀티웰 개방형 지열시스템

○ 국내 지반은 활용가능한 충적층 대수층과 결정질 암반 대수층으로 많이 발달되어 있으므로 강변여과수를 활용한 개방형 시스템이나 반개방형인 (semi-open) SCW가 실용적인 측면에서 매우 적합한 시스템으로 판단되나 아직 국내에서 제도적인 지원이 되지 않아 보급되는데 많은 어려움이 있다.



[그림 1-2] 강변여과수 활용 개방형 지열시스템 및 SCW형 지열시스템
(Kim et al., 2008; Spitler, 2002)

제2절 국외 지열시스템의 현황

○ 미국은 다양한 대규모 개방형 시스템이 개발되어 이용되고 있으며 이에 대한 국제연구도 IEA(국제에너지기구)등을 통하여 지속적으로 참여하고 있다. 지하수를 이용하는 개방형 지열 시스템으로서 현재 운영중인 가장 오래된 시스템은 1948년 건설된 The equitable building이며, 50m 심도의 2개의 양수정과 170m 심도의 1개의 주입정으로 이루어져 있다. 최대 양수량은 130 ㎥/h이며, 열펌프만 교체하면서 60년 이상 지난 지금까지 이용되고 있다.

○ 미국은 ASHRAE 연구 프로젝트(Spitler, 2002)에서 1990년대 후반부터 SCW 형태의 프로그램 개발을 시도하였으며, 2002년에 보고서를 만들었다. 그러나 아직 열펌프 효율과 연동된 상업화된 형태의 프로그램은 없으며, 완전한 개방형 시스템의 시뮬레이션은 현재 T-H-C 수치모델을 이용하여 설계하고 있다.

○ 네덜란드는 충적 대수층이 전국토에 발달되어 지하수를 지하열에너지로 많이 이용하고 있으며 현재 1000여 개의 ATES 시스템이 설치되어 있다. 이러한 장점을 이용하여 ATES 기술을 상업화하여 미국과 유럽, 아시아 등에 기술을 수출하고 있다.

○ 일본은 기술개발 분야에서는 많은 연구들이 진행되어 왔는데 Hamada 등(2002)은 GIS (Geographical Information system)을 이용하여 지반내 열물성과 지하수 특성에 따른 적합한 열저장 방법들을 선택할 수 있는 시스템을 개발하였다. 그리고 융설과 에너지파일, 대수층 축열 등에 많은 연구가 진행되어 왔다(Hamada et al., 2007; Nagano, 2007; Nagano et al., 2002).

○ 암스테르담 지역은 투수성이 크고 대량의 양수 및 주입이 가능한 충적층 대수층이 부존하고 있으며, 이 지역의 새로운 빌딩에 설치되는 ATES 냉난방 개방형 지열시스템 설치비를 회수하는 기간이 일반적으로 5년 이하이다 (Bakema and Snijders, 1998; Godschalk and Bakema, 2009).

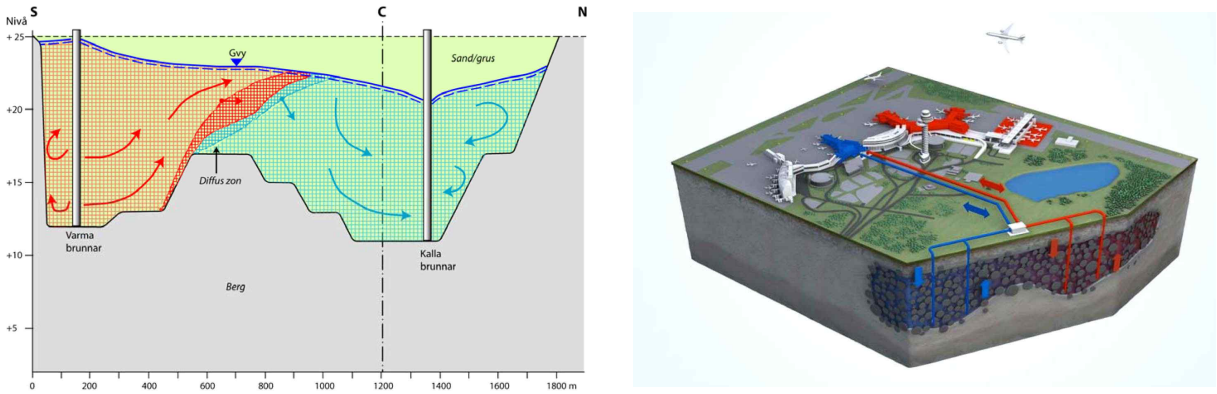
○ 세계에서 가장 큰 지하수원 지열시스템의 하나인 KY Louisville에 있는 Galt House 호텔은 전체냉난방 면적이 158,400㎡으로 약 400m 심도의 4개 관정에서 2,650 ℓ/min의 물을 양수하여 열교환기에 이용한다.



[그림 1-3] 세계에서 가장 큰 형태의 개방형 지열시스템의 하나인 Galt House hotel Louisville, KY, USA (Geothermal Heat Pump Consortium, 2009)

○ 개방형 시스템을 연구한 사례는 Xue 등 (1990)에 의하여 나타나 있으며, 지속적인 국제협력을 통하여 지속적인 기술개발을 이루어 왔다. 가장 큰 단일 프로젝트 규모는 냉난방 면적이 186,000㎡이며, 베이징 올림픽 주경기장을 비롯한 많은 대규모 실용화 사례들이 있다 (Gao et al., 2009; Jiurong and Jianping, 2005).

○ 유럽에서 개방형 지열시스템으로서 10 MW 이상의 대규모 시설들로는 노르웨이 Oslo Gardermoen 국제공항, 스웨덴 Arlanda 국제공항 (10 MW, 2006) 등이다 (Holdsworth, 2004; Ingrid, 2009).



[그림 1-4] 스웨덴 Arlanda 국제공항 개방형 지열시스템 설치를 위한 수리지질 특성 파악 및 모델링 및 조감도 (from (a) Anderssen and (b) Ingrid, 2009)

제3절 국내외 특허 동향

1. 관련 기술/제품의 국내 지식재산권(특허 등) 현황

○ KR 0,886,009 / 2009.02.20 / 한국지질자원연구원 / 등록 / 균열 암반 내 지하수를 이용한 지열에너지를 지하수 고갈이 되지 않게 지속적으로 지하수를 얻을 수 있는 자동온도 바이패스 장치를 이용한 지하수 환원형 지중열 교환장치

○ KR 0,916,761 / 2009.09.03 / 한국지질자원연구원 / 등록 / 히트펌프에 가해지는 급격한 순간부하를 지하수를 이용하여 저감토록 한 축열지하수공을 이용한 지중 열교환 시스템

○ KR 0,628,986 / 2006.09.20 / (주)티이엔 / 등록 / 하나의 히트펌프에 각기 다른 시추공 내에 설치된 다수의 심정펌프를 연결하고, 심정펌프를 통해 히트펌프로 공급되는 지하수의 온도에 따라 히트펌프가 심정펌프들을 순차적으로 구동시키는 지중수를 이용한 냉난방 시스템

○ KR 0,907,810 / 2009.07.08 / (주)지지케이 / 등록 / 열교환기를 경유한 지하수의 지중 통과 시간이 연장되도록 하여 지중의 열을 충분히 흡수하도록 하므로 지중을 통해서 일차로 열복원이 이루어진 후 지열공으로 회수되도록 구성된 개방형 지열시스템의 지하수 순환장치

○ KR 0,576,394 / 2006.04.26 / 임철호 / 등록 / 하나의 보어 홀을 지하 암반층에 형성하고 지하수 보충장치를 구비하여 보어 홀 내에 일정 지하수위를 유지하면서 지하수를 열원으로 이용하여 냉난방 할 수 있는 지하수 보충장치를 갖춘 지열에너지 열교환시스템

2. 관련 기술/제품의 국외 지식재산권(특허 등) 현황

○ 유럽에서 주로 이 분야의 기술을 주도하고 있으나, 특허는 미국이 많은 특허를 보유하고 있으며, 자국 기술의 의존도도 매우 높은 편으로 다음과 같은 주요 특허가 등록되어 있음

- US 4,461,157, Ground water heat pump system for low yield well, Snyder General Corporation

- US 5,183,100, System for efficiently exchanging heat or cooling ground water in a deep well, Harrell, Jr., James E.

- US 7,597,138 Ground water heat transfer systems and deployment thereof, American Refining Group, Inc.

- US 7,647,773, Ground source heat pump well field design and control strategy for large tonnage, American Refining Group, Inc.

제4절 국내 정부지원정책 현황

1. 관련법령, 정부 정책 및 담당기관

가. 관련법령

법령	제정일	주요내용	주관부서
에너지 기본법	'08. 2. 29	▪ 에너지에 대한 기본원칙, 국가적인 책무 등 규정 ▪ 20년을 계획기간으로 하는 5년 단위 국가에너지 기본계획 수립·운영	지식경제부
에너지이용 합리화법	'08. 2. 29	▪ 정부에너지사용 수요자와 공급자의 책무 ▪ 에너지 절약형 경제구조로 전환, 기술개발·온실가스저감·수급안정, 고효율기자재인증 등 이용합리화	지식경제부
신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법	'08. 3. 14	▪ 지열·태양광에너지 등 신·제생에너지 개발, 이용 및 보급 촉진 ▪ 연면적 3,000m2 이상인 건물의 신증개축시 총건축 공사비의 5%를 신재생에너지 설비에 의무적 사용	지식경제부
건축법	'08. 6. 5	▪ 건축물의 설계·시공·감리 및 유지관리 기준, 친환경 건축물 인증 ▪ 친환경적 건축물의 설계요령 (설계등의 가이드라인)	국토해양부

나. 관련지침

지침	제정일	주요내용	수관 부서
공공기관 에너지 이용합리화 추진지침	제2008-3호 '08. 6. 12	▪ 에너지절약 추진체계 및 절약 목표 ▪ 건물, 수송, 교육 및 홍보 등 부문별에너지 절약 시책, 추진실적 보고 및 점검등	국무 총리
건축물의 에너지절약 설계 기준	제2008-5호 '08. 1. 11	▪ 건축물의 에너지 절약 설계기준 ▪ 에너지절약 계획서 및 단열재의 두께 기준	국토 해양부
친환경 건축물 인증 기준	제2008-178호 '08. 5.	▪ 친환경 건축물의 건설을 유도•촉진하기 위하여 친환경 건출물 인증 제도 운영에 필요한 사항 규정	국토해양부 ,환경부
건축물의 냉난방 설비에 대한 설치 및 설계기준	제2008-17호 '08. 4. 16	▪ 건축물의 설비 기준등에 관한 규칙 제 23조 제 2항의 규정	지식 경제부

다. 개방형 지중열교환기 관련법령

법률	개정일	주요내용	수관 부서
지하수법 및 시행규칙	'10. 1. 12	▪ 지열공(지중열교환기) 설치기준 ▪ 지하수오염방지시설의 설치기준	국토 해양부

2. 정부지원 정책사업 종류와 현황

○ 국제유가의 불안한 변동 상황 및 기후변화협력 등 에너지관련 주변여건의 급격한 변화에 적극적으로 대응하기 위하여 우리나라 정부도 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 등을 제정하고 그 틀 안에서 각종 정책과 제도를 수립·시행하면서 신재생에너지의 개발·보급·확산에 많은 노력을 기울이고 있다.

○ 고유가 시대에 대응하고 친환경녹색성장을 선도하고자 하는 목적으로 2010년부터 신재생에너지원인 지열을 시설원예 냉난방용으로 활용하여 국제적 경쟁력 강화 및 에너지 절약정책에 기여하고자 2014년까지 5개년 동안 매년 2,000억원 규모의 시설원예 에너지이용 효율화사업을 추진 중에 있다.

○ 2010년 신재생에너지 원별 기준단가를 보면 지열의 경우 개방형이 보급형식으로 지정(지식경제부 고시 제 2009-332호)되었으나, 지식경제부 고시 제2011-3호 「신·재생에너지설비의 지원 등에 관한 기준」제 11조에 의하면 지열은 주택 및 일반건물 모두에 대해 수직 밀폐형만이 보급에 참여가 가능한 것으로 규정되었습니다. 따라서, 개방형 지열시스템의 경우 일반보급사업, 지방보급사업, 시범보급사업, 공공임대주택보급사업, 융자지원사업 등에 적용이 가능하나 그린홈 100만호 보급사업에는 형식지원이 지정되지 않아 개방형을 시공할 수 없는 실정이다.

○ 지식경제부의 “신·재생에너지 설비의 지원 등에 관한 기준 및 지침(2011년 1월)”에 따르면 지중열교환기는 수직밀폐형, 지중수평형, 에너지파일형, 스탠딩컬럼웰형의 4가지 형식을 규정하고 있습니다. 동 기술제품과 관련된 스탠딩컬럼웰형은 수직으로 우물공을 설치하고 우물공으로부터 지하수를 취수하여 열교환을 한 후 지하수를 다시 동일한 우물공으로 주입하는 방식으로 규정하고 있으며, 전문 지하수 영향조사 기관을 통하여 ‘지하수 영향조사’를 실시하고 지열우물공 설치에 따른 건축물의 기초 안정성 검토를 요구하고 있으며, 지하수를 재주입하는 경우에도 먹는 물 수질기준에 적합할 것을 요구하고 있다.

○ 개방형지중열교환기는 외부오염 또는 관 자체로 인한 오염 문제 등을 해결하기 위한 개선된 구조를 가진 제품이나 기존 개방형 지중열교환기의 환경오염문제 등으로 인해 설치가 제한되고 있어 부분적으로 시장 진입이 제한되고 있으나, 연구개발기술은 외부오염물질을 원천적으로 해결하였다. 또한 2009년 4월 환경부의 ‘지열 냉난방시스템으로 인한 토양·지하수 환경영향 개선방향’ 보고서는 운영시 또는 사후에 밀폐형지중열교환기내의 열교환 유체가 누출될 경우 지하수 오염을 초래할 우려가 있으나 개방형(SCW)은 지하수가 재주입되므로 수량 및 수위 영향은 적다”고 밝히고 있어 향후 제도적인 보완이 이루어질 수 있을 것으로 판단된다.

3. 정부지원 정책사업 현황 조사의 결론

강점	• 온실가스 저감 및 탄소배출권 도입 등으로 인한 정부차원의 신재생에너지 보급을 지원하고 있으며, 정부의 ‘저탄소, 녹색성장’, ‘녹색강국’ 및 ‘국가에너지 기본계획’에 부합 - 2004년 4월“신재생에너지 개발 및 이용 보급촉진법시행령” 확정 - 그린홈 100만호 보급사업(지식경제부) - 일반보급사업(지식경제부) - 지방보급사업(지식경제부) - 시설원예 신재생에너지보급사업(농림수산식품부) • 환경부의 ‘지열설비의 설치·운영등에 관한 환경관리요령(2010)’에 따르면 개방지열설비는 지하수법시행규칙 제5조(설치기준) 및 지하수의 수질보전 등에 관한 규칙 제2조(지하수오염방지시설의 설치기준)에 오염방지시설을 설치하도록 하였고, 지하수 이용에 따른 장단기적인 지반의 변형(공내붕괴 등)의 저감대책을 수립 및 지열공 내부를 청소하여야 한다고 서술하였다. 본 추가기술개발은 지중열교환기 상부밀폐 및 유체순환장치는 지열공을 완전 밀폐하여 오염을 방지하고 기존의 지열공 내부케이싱을 설치하지 않아 공내붕괴에 안정성을 확보하였으며, 유지관리가 편리한 구조를 적용함으로써 ‘지열설비의 설치·운영등에 관한 환경관리요령(2010)’과 부합함. • 2011년 에너지관리공단의 ‘신재생에너지 공공기관 설치의무화 및 건축물 인증 설명회’의 자료에 따르면 지열에너지는 단위에너지생산량당 투입예산이 가장 저렴하다고 설명하였으며, 지열에너지의 시장이 확대될 것으로 전망하였음.

단점	• 개방형지열시스템은 현장에서 잦은 하자발생으로 신뢰성확보가 시급함. • 기존 개방형 지열시스템의 지중열교환기는 개선공사 및 유지관리의 어려움 등이 장애가 되어 개방형 지중열교환기 설치를 회피하고 있는 실정임. • 지하수 지열 개발 업체의 영세화에 따른 고급 인력 확보 및 고부가가치 사업화의 어려움
기회 요인	• 농림수산식품부 시설원예 신재생에너지보급사업은 2010년부터 년간 2000억원의 예산이 투입되고 있으며, 그 시설기준에 현장 대수층의 수리적/열적인 상태에 따라 개방형지열교환기를 적용도록 규정되어 개방형지열시스템의 시장이 확대될 것으로 예상된다. • 본 추가기술개발은 지중열교환기 상부밀폐 및 유체순환장치는 기존의 개방형 지중열교환기의 시장확대에 있어 저해요소인 지하수오염문제, 지열공의 구조적인 문제로 발생하는 공내붕괴와 지열공의 개선공사 및 유지관리의 어려움을 해결함으로써 지열에너지 시장확대에 기여할 것으로 판단됨.
위험 요인	• 지하수 지열분야 전문연구인력 등 관련 인프라 부족에 따른 정부 정책 수립 및 수행이 곤란 • 무분별한 지하수 및 지열 자원개발에 따른 지질·지하수 환경 악화 • 지하수 지열자원에 대한 정부차원의 지원 부족에 따른 연구 및 신규사업 부재

제5절 국내 연구 동향

1. 유사 연구개발사업의 조사 및 검토

○ 국가과학기술지식정보서비스(www.ntis.go.kr)를 이용하여 10년간(2003년 ~ 2012년) 신재생에너지 지열분야 중 지중열교환기 개발에 관한 연구개발 사업을 조사하였다.

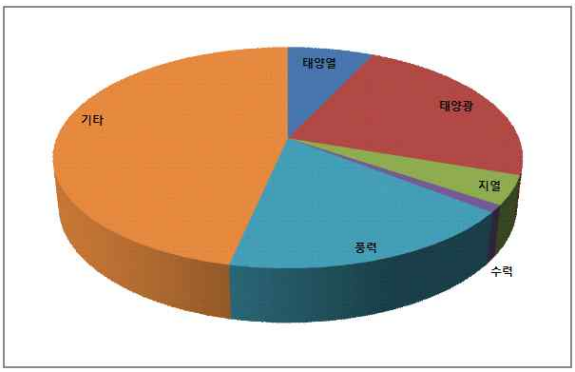
○ 신재생에너지 분야의 연구개발은 총 4,267건이 검색되었으며 태양열분야 300건, 태양광분야 992건, 풍력분야 759건, 지열분야 181건, 기타 1,990건으로 검색되었다.

○ 본 연구개발과 유사한 지중열교환기 개발은 총 71건으로 각 연구과제 별로 정리하면 총 33건이 조사되었다.

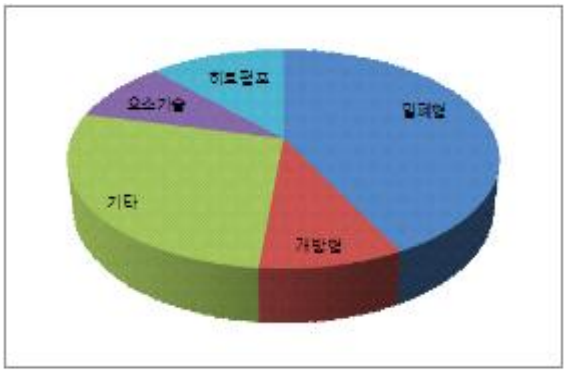
○ 그 검색 결과는 아래와 같다.

시작 년도	사업명	과제명	예산	연구 기간
2002	전력산업연구개발	지열원 히트펌프를 이용한 축냉시스템 개발	236	3년
2003	대체에너지기술개발	현지용 지중열전도도 예측 기술 개발	195	2년
2003	대체에너지기술개발	부하추종형 고효율 지열히트펌프 시스템 개발	1,374	3년
2004	대체에너지기술개발	지열이용 하이브리드 히트펌프 시스템 개발	396	3년
2004	대체에너지기술개발	한국형지중열교환기 최적설계 패키지 개발	250	3년
2004	신재생에너지기술개발	스탠딩컬럼웰을 적용한 지열히트펌프 실증연구	-	2년
2005	에너지자원기술개발	강변여과수(충적층 및 하상) 열자원 활용기술	480	3년
2005	산학연공동기술개발	히트파이프형 지중열교환 시스템 개발	18	9월
2005	에너지자원기술개발	지중 열거동 통합 시뮬레이션 기술개발	471	3년
2006	건설핵심기술연구개발	지열냉난방시스템 활용을 위한 친환경 수직형 지중열교환 시스템의 개발	543	3년
2006	에너지자원기술개발	용량가변형 지열원 다중공간 냉난방시스템	592	2년
2006	신재생에너지기술개발	현지 지중열전도도 측정 기술	-	3년
2007	신재생에너지기술개발	단일관정을 활용한 충적대수층 이용 냉난방시스템 개발	660	3년
2007	신재생에너지기술개발	저심도 지열을 활용한 에너지 파일 및 환기 병용형 냉난방 시스템 개발	850	3년
2008	신재생에너지기술개발	주택용 소형 소용량 지열원 열펌프시스템의 신뢰성 향상방안 연구	300	2년
2008	신재생에너지인력양성	하이브리드 지열히트펌프 최적설계 및 제어기술 개발	240	3년
2008	에너지자원기술개발	지하 열 및 지하수 DB 반영 모델과 활용 최적화 기술 개발	220	2년
2009	신재생에너지기술개발	건물 하부 구조물에 설치되는 지중열교환기 및 지열 히트펌프 시스템의 실증 평가	700	2년
2009	신재생에너지기술개발	전열 성능 분석을 통한 수평형 지중열교환기 설계 데이터 및 시공기법 구축	350	2년
2009	신재생에너지기술개발	공동주택(아파트)의 지열냉난방 시스템 적용성에 관한 연구	2,595	6년
2009	산학연공동기술개발	지중열교환기용 시멘트그라우트 기술개발	54	2년
2010	신재생에너지기술개발	직접순환식(DX) 수직밀폐형 지열원 열펌프 시스템 기술 구축	620	3년
2010	신재생에너지기술개발	R410A 원심 압축기를 이용한 지열 히트펌프 시스템	3,515	3년
2010	신재생에너지기술개발	앵커(Anchor)와 로우프를 이용한 고심도 고열량 지중 열교환기장치 개발	257	2년
2010	신재생에너지기술개발	소규모 분산형 지열시스템 개발	2,200	3년
2011	산학연협력기술개발	한방향 지열 열펌프용 혼수 방지 3-way 밸브 제어기 개발	24	1년
2011	신재생에너지융합원천기술개발	내식형 직접순환식 지중열교환시스템 기술 개발	570	2년
2011	신재생에너지융합원천기술개발	태양열원 및 지열원 복합 냉난방시스템 개발	690	2년
2011	신재생에너지융합원천기술개발	대구경 현장타설 콘크리트 말뚝에 적합한 지열교환 시스템의 설계 및 시공법 개발	200	3년

시작년도	사업명	과제명	정부	연구기간
2012	신재생에너지융합원천기술개발	내부나선형 지중열교환기 개발 및 적용성평가	420	3년
2012	산학연공동기술개발	시공이 용이한 코일형 지중열교환기 및 시공 시스템 개발	420	2년
2012	신재생에너지융합원천기술개발	개방형 지열 냉난방 시스템의 설계 시공기준 확립 및 신뢰성 확보를 위한 실증연구	805	3년
2012	신재생에너지융합원천기술개발	비주거용 지열 히트펌프 시스템의 보조 히트싱크 활용 기술 개발	200	2년



신재생에너지 분야 검색 결과



지중열교환기 검색결과

○ 본 연구개발과 유사한 개방형 지중열교환기에 관한 연구개발 사업은 스탠딩컬럼웰을 적용한 지열히트펌프 실증연구(2004), 앵커(Anchor)와 로우프를 이용한 고심도 고열량 지중열교환기장치 개발(2010) 및 개방형 지열 냉난방 시스템의 설계 시공기준 확립 및 신뢰성 확보를 위한 실증연구(2012) 등이 있다.

○ 스탠딩컬럼웰을 적용한 지열히트펌프 실증연구(2004)는 흡수식 시스템과 비교하여 지하수를 이용하는 스탠딩컬럼웰 방식의 지열히트펌프 실증연구를 통하여 지열시스템의 운영에 따른 지하수 환경영향평가를 목표함.

○ 앵커(Anchor)와 로우프를 이용한 고심도 고열량 지중 열교환기장치 개발(2010)은 심도 500m까지 지열공을 굴착하는 것은 동일하나 지중열교환기 내부 순환구조를 밀폐형과 동일한 방법으로 현장 적용하는 것을 목표함.

○ 개방형 지열 냉난방 시스템의 설계 시공기준 확립 및 신뢰성 확보를 위한 실증연구(2012)은 국내외 소개된 개방형 지중열교환기(Single-well, Two well, SCW)를 실증하여 신뢰성확보를 목표함

○ 위 3건의 연구개발 사업은 기존에 소개되어진 개방형 지중열교환기 시스템의 신뢰성, 성능평가 및 지하수 환경영향에 관한 연구로 본 과제와 차별화 되었으며, 기존 개방형 지중열교환기의 설계 · 시공방법의 기준 확립과 지질 특성 열물성 평가 방법등과 같은 신뢰성 확보를 목표로 함.

제6절 개방형지중열교환기 구축의 이론적 접근방법

1. 지열냉난방시스템의 개요

○ 지열원 냉난방시스템은 토양, 지하수 지표수 등을 열원 및 히트싱크로 활용하는 시스템을 통칭한다. 과거에는 고엔탈피 지열의 직접적 이용(지열발전 : 100~150℃)에 관심이 있었고 현재에도 심부지열이 많은 북유럽의 경우 고엔탈피 위주로 지열을 이용하고 있다. 그러나 1980년대 이후에 저엔탈피(지열원 냉난방시스템 : 10~20℃) 지중열원을 이용한 히트펌프에 관심이 모아졌으며 유럽의 다수국가와 미국을 중심으로 빠르게 확산되었다.(우정선, 2003; 한국수자원공사, 2008)

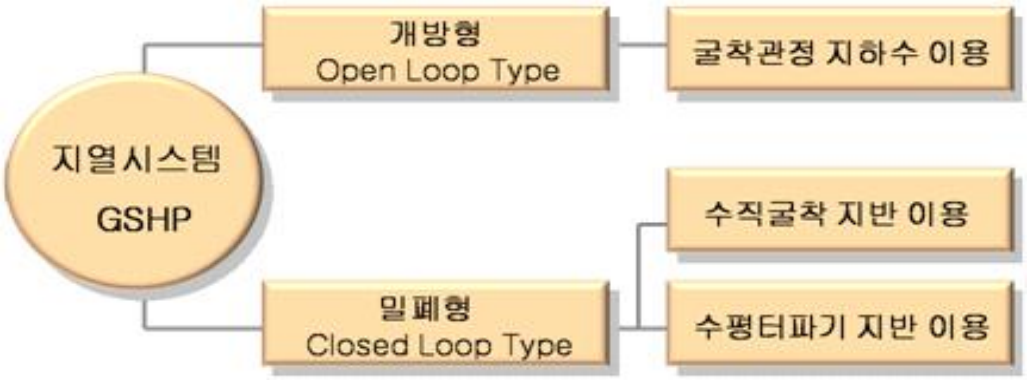
가. 지열 냉난방시스템의 분류 및 특성

○ 본 연구개발에서는 천부지중 혹은 지하수(~수백미터 이내)의 온도가 일정하여(국내 12~20℃ 내외) 여름에는 외부 공기보다 낮고 겨울에는 외부공기보다 높은 특징을 이용하는 저엔탈피 지열을 이용하는 지열원 히트펌프(Ground Source Heat Pump) 시스템은 열원 종류에 따라 크게 4가지로 구분하며 이에는 토양 이용 히트펌프(Ground Coupled Heat Pump), 지하수 이용 히트펌프(Ground Water Heat Pump) 지표수 이용 히트펌프(Surface Water Heat Pump) 및 복합 지열원 히트펌프(Hybrid Ground Source Heat Pump)등으로 구분하며(신현준, 2004), 열전달(교환) 유체의 순환방법에 따라 밀폐형(closed loop)과 개방형(open loop)으로 구분하기도 한다.

○ 국내에서는 지중열원으로 지반과 지하수를 주로 이용하며, 순환방식으로는 지반을 이용한 밀폐형 방식(주로 수직형)과 지하수를 이용한 개방형(주로 SCW)이 주로 적용되었다.

○ 지반을 이용한 히트펌프 시스템은 밀폐형이라 불리며 지중열교환기(Ground heat exchanger)의 설치방식에 따라 수직형과 수평형으로 구분하며, 지중에 설치된 루프를 통해 열교환 유체(일반적으로 물+부동액)를 순환시켜 열을 회수 혹은 교환하는 방식이다.

○ 지하수를 이용한 히트펌프 시스템은 두 개의 관정을 이용하는 복수관정방식과 단일관정을 이용하는 SCW방식으로 구분하며, 복수관정형은 한 관정에서 지하수를 양수하고 다른 관정으로 재주입하는 방식이며, SCW 형은 단일관정에서 양수하고 동일관정으로 지하수를 재주입하는 방식이다.



<그림 2-1> 열전달유체의 순환방식에 의한 지열 냉난방시스템의 분류

[표 2-1] 대표적인 지열시스템의 유형별 특성

구 분		개방형	수직 밀폐형	수평 밀폐형
유 형				
원 리		지하수 순환 방식	부동액 순환 방식	좌동
지중열교환기	굴착깊이	500m	150m 이상	트렌치깊이 2m 내외
	굴착공수	1개소	9개소	
	필요면적	0.5평 이내	최소 90평	연건평의 1.2배
	이격거리	없음	5m이상	
비 고		지하수개발수량이 충분할경우에굴착깊이를축소할수있음	굴착깊이와 열효율이 정비례하기 때문에 일정깊이 굴착이 필수	트렌치 길이와 열효율 정비례

나. 지열 열펌프 시스템의 구성

○ 일반적으로 열펌프 시스템은 압축기, 응축기, 교축장치(팽창밸브), 증발기로 구성되어 있다. 팽창밸브출구에서 배출된 냉매는 온도가 매우 낮은 찬 액상냉매이다. 이 찬 액상냉매가 지중열교환기 내에서 흐르는 순환수로부터 열을 흡수하여 증기화 한다. 이들 증기는 냉매 압축기에 의해 압축을 받아 압력이 상승하고 증기냉매의 온도는 90~100℃까지 상승한다. 냉매 압축기에 의해 고온·고압의 증기로 바뀐 증기냉매는 응축기(실내)에서 가지고 있던 열을 방열한다. 고온의 증기냉매는 차가운 실내온도 때문에 가지고 있던 열을 추출당하고 실내를 난방시킨다. 이때 송풍기를 이용해서 고온의 증기 냉매의 온도가 실내로 이동되도록 한다. 열을 잃은

증기냉매 온도가 하강함과 동시에 대다수는 응축되어 액상으로 변한다. 액상 및 증기 냉매는 순환하여 팽창밸브에 도달한다. 팽창밸브는 압력을 감소 시켜 찬 액상냉매로 냉각되어 난방주기를 반복한다.

○ **열펌프의 구성기기**

- **압축기** : 저온, 저압의 냉매가스를 고온, 고압의 가스로 변환하여 냉동사이클 내를 순환시키는 작동을 하는 것으로 가장 중요한 구성기기이다.

- **열교환기** : 격벽을 통하여 두 종류의 온도가 다른 매체 사이에서 열교환을 하는 장치이다. 열펌프에서는 동일한 열교환기가 냉방과 난방 시 각각 증발기나 응축기로 이용된다.

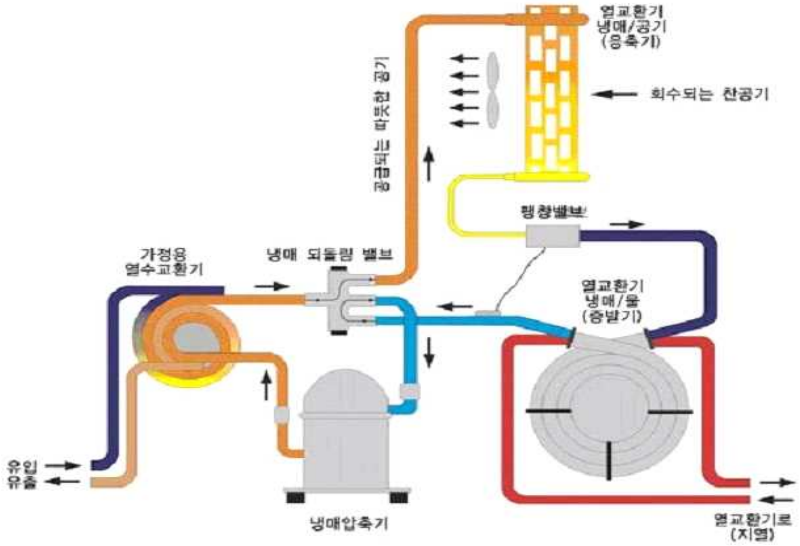
- **교축장치**(팽창밸브) : 교축장치는 응축기에서 액화된 고압냉매를 좁은 통로를 통과시킴으로써 저항을 가하여 압력을 내리는 것과 냉매의 유량을 제어하는 두가지 역할을 한다.

- **4방향 밸브** : 열펌프에서는 냉방운전과 난방운전을 4방향 밸브로 냉매회로의 전환에 의해 행하고 있다.

- **어큐뮬레이터** : 증발기와 압축기 사이에 설치되어 흡입 냉매가스 속의 액상 냉매를 분리하여 가스상의 냉매만을 압축기에 흡입시키기 위한 용기이다. 어큐뮬레이터로 인해 리퀴드 백에 의한 토출 밸브 등의 파손이나 베어링과 같은 슬라이딩 부분이 소손되는 등의 압축기 사고를 방지할 수 있다.
  <리퀴드 백 : 흡입가스와 함께 액체 냉매가 압축기에 흡입되는 현상>

- **스트레이너** : 냉동 사이클 내에 들어 온 먼지, 용접 찌꺼기, 모래 등의 이물질을 막아 청정한 냉매만을 통과시키기 위해 이용된다. 사이클 속에 이물질이 순환하게 되면 전자밸브, 팽창밸브, 4방향밸브의 원활한 작동을 저해하고 압축기의 슬라이딩부를 손상시켜 고장의 원인이 된다.

- **오일 분리기** : 압축기와 응축기 사이에 설치하여 압축기에서 토출된 냉매가스에 포함되어 있는 냉동기유를 분리하여 압축기 속으로 되돌리는 용기이다.



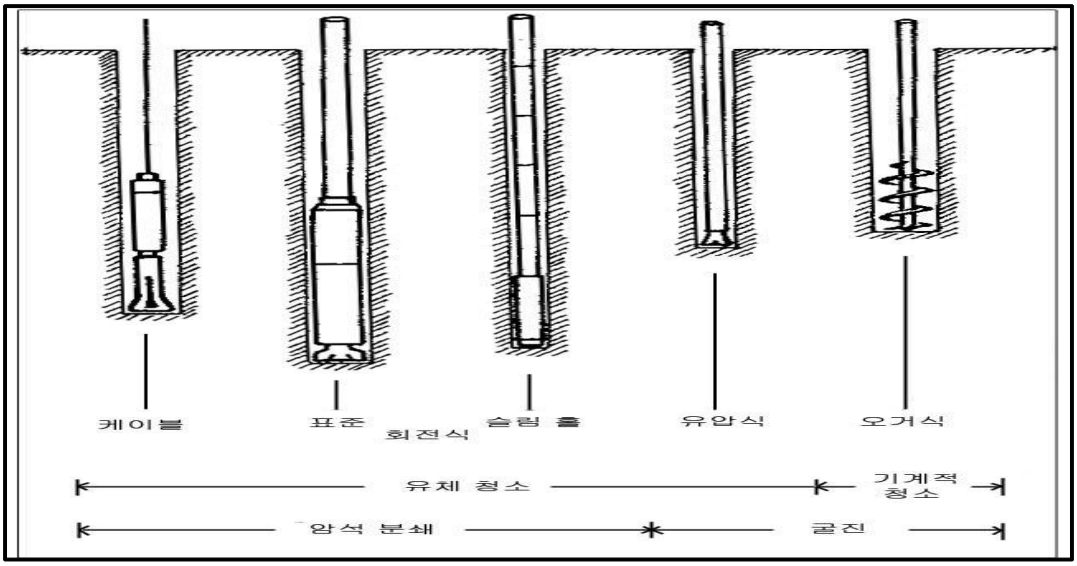
[그림 2-2] 지열펌프 시스템의 난방주기 모식도

2. 개방형 지중열교환기의 굴착

○ 굴착공사의 공정은 표토부(미고결층) 굴착, 수질오염방지를 위한 외부케이싱(지표하부보호벽)설치 및 그라우팅, 암반부 굴착 등의 순서로 진행된다.

표토부 굴착	• 토사, 충적층, 풍화암 • 연암 1m까지
⇩	
오염방지시설	• 외부케이싱 설치 • 그라우팅
⇩	
암반부 굴착	• DTH공법(에어함마, 버트비트) • 회전충격식, 고압압축공기 사용
⇩	
대수층 형성	• 과잉양수법, 역세척방법, 요동방법 • 공내청소, 공내소독

○ 굴착 방법의 가장 단순한 분류 방법은 암석을 분쇄하는 것과 미고결퇴적층을 교반시켜 굴착하는 방법으로 구분된다. 기계적으로 매질을 분쇄하거나 교반하는 방법으로는 Cable tool method, 회전식 오거 시추, 회전식 시추, 탑 홀 해머 시추 등 다양하며, 유압식으로 절삭 및 분사시키는 방법은 수압식(Jetting method), 수세식(Washing boring method) 및 Hollow rod drilling 등이 해당된다. 기타 방법으로 용해법, 고주파 진동법, 온도 분쇄법 등이 있으나 일반화된 방법은 아니다.



[그림 2-3] 굴착 유형-천공방법에 따른 분류

○ 굴착방법의 결정은 대상지역의 분포 지질, 우물의 구경 및 예상 심도 등을 고려하여 다음의 굴착방법 중 가장 효율적인 굴착방법을 선택한다.

- Cable tool(Percussion method) : 굴착을 위한 뾰족하고 무거운 추를 반복적으로 들었다 놓았다 하면서 단단한 암석을 파쇄하는 방법으로 굴착을 한다. 미고결층의 굴착시에는 공벽을 지지하기 위하여 굴착전 몇 미터씩 케이싱을 삽입한 후 굴착하며 물을 주입하여 슬러지를 만든 후 양수관 또는 펌프를 사용하여 암편을 제거한다.

- 회전식 방법(Rotary method) : 여러 톱니가 달린 파이프를 돌림으로써 굴착하는 방법으로 원활한 회전과 암편의 제거를 위하여 유체를 주입하며, 유체의 주입방법에 따라 정회전방식과 역회전방식으로 분류된다. 정회전 방식은 유체를 안쪽으로 주입하여 바깥쪽으로 배출시키며 역회전방법은 반대로 바깥쪽으로 주입하여 안쪽으로 배출한다. 이 방법은 미고결 퇴적물이 두꺼운 지역에서 높은 산출량을 필요로 할 때 사용한다. 한편, 에어로터리 방법은 굴착시 유체를 주입하는 대신에 공기를 주입하여 암편을 제거하며 주로 지층이 단단한 암석일 경우에 사용이 가능하다.

○ 충격식 방법(Hydraulic percussion method) : 에어해머 드릴 등을 이용하여 굴착 로드를 짧은 시간 간격으로 여러번 충격을 주어 굴착하는 방법이다. 이 방법은 굵은 자갈로 구성된 충적층을 굴착할 때 유용하며 슬러지 제거에는 압축공기를 사용한다.

○ 분사 방법(Jetting method) : 파이프 아래에 비트를 달아 고압으로 물을 분사하는 동시에 비트의 진동으로 굴착한다. 이 방법은 미고결층에서 15㎝ 이하의 소구

경 굴착을 할 때 주로 사용한다.

○ 오거 방법(Auger method) : 오거 방법은 자갈 등의 암석덩어리를 포함하지 않고 있는 미고결층에 한정하여 사용할 수 있다. 이 방법은 일반 우물개발시에는 사용하지 않으며 대신 지질공학적인 지반조사에 필요한 시험용 우물 굴착시 사용하거나 대구경의 강변여과수 등 충적층 우물 개발시 사용되기도 한다.

○ 타설우물(Driven well)은 소구경으로 비교적 자갈들이 없는 부드러운 지층에서 개발할 수 있으며 보통 15m 심도까지 굴착이 가능하다.

[표 2-2] 우물 굴착 방법별 장단점 비교

굴착 방법		장 점	단 점
Cable Tool		◦ 양호한 시료채취 가능 ◦ 다양한 심도/구경의 정호개발 가능 ◦ 대수층의 인식이 용이함 ◦ 경암층 정호개발에 적합함	◦ 점토질층에서 굴착시 속도가 느림 ◦ 오래된 장비를 사용시 잦은 고장 ◦ 케이싱구경보다 큰 구경으로 굴착을 해야함
로터리 방법	정회전방식	◦ 속도가 빠르며 비용이 저렴 ◦ 다양한 심도/구경의 정호개발 가능 ◦ 유체로 사용되는 진흙으로 인해 안정된 정호가 형성됨	◦ 시료 채취가 곤란 ◦ 유체로 사용되는 점토가 인근 암석층에 거름막 역할을 함 ◦ 경암에서의 개발은 불리함
	역회전방식	◦ 거름막 역할을 하는 점토층 제거 용이 ◦ 대구경으로 굴착시 비용 저렴 ◦ 공극률이 큰 지층에서 굴착 용이 ◦ 개발된 정호는 비교적 안정되고 깨끗함	◦ 공극률이 큰지층 굴착시 물의 공급이 필요하며, 회전율이 떨어짐 ◦ 고결암층이나 자갈이 많은 지층의 굴착은 불가능 ◦ 지하수위가 낮거나 투수율이 높은 층에서 붕괴가 발생
	에어로터리방식	◦ 장비설치 시간이 짧음 ◦ 다른 로터리방식 보다 상대적으로 굴착시간이 짧고 비용이 저렴 ◦ 비교적 양호한 시료회수가 가능	◦ 지표에 보호막 설치가 필요 ◦ 미고결층에서는 불리 ◦ 굴착심도에 제한이 있음
충격식 방법		◦ 굴착속도가 빠르고 시료회수율이 높음 ◦ 큰 자갈등이 포함된 미고결층에서의 굴착에 유리함	◦ 대구경 굴착시 연암의 분쇄로 인해 지층이 봉인됨

3. 지하수법상 지열시스템관련 규정

○ 지하수법(일부개정 2008.3.28., 법률 제9058호)에서 지열시스템과 관련한 조항으로는 제7조(지하수개발·이용의 허가), 제8조(지하수개발·이용의 신고), 제9조4(지하수에 영향을 미치는 굴착행위의 신고 등), 제9조5(지하수개발·이용시설의 사후관리등), 제30조3(지하수이용부담금의 부과·징수)등.

○ 지하수법 시행령(일부개정 2008.6.25., 대통령령 제20877호) 제14조3제2항제3호(제9조4제1항 “대통령령이 정하는 주요한 사항” 관련)에서 지열을 냉난방에너지원으로 이용하기 위한 지열냉난방시설의 공사로서 지하수를 뽑아 쓰지 아니하는 공사(밀폐형)는 지하수에 영향을 미치는 행위로 신고대상으로 규정함(시행규칙 서식12의7(굴착행위신고서)).

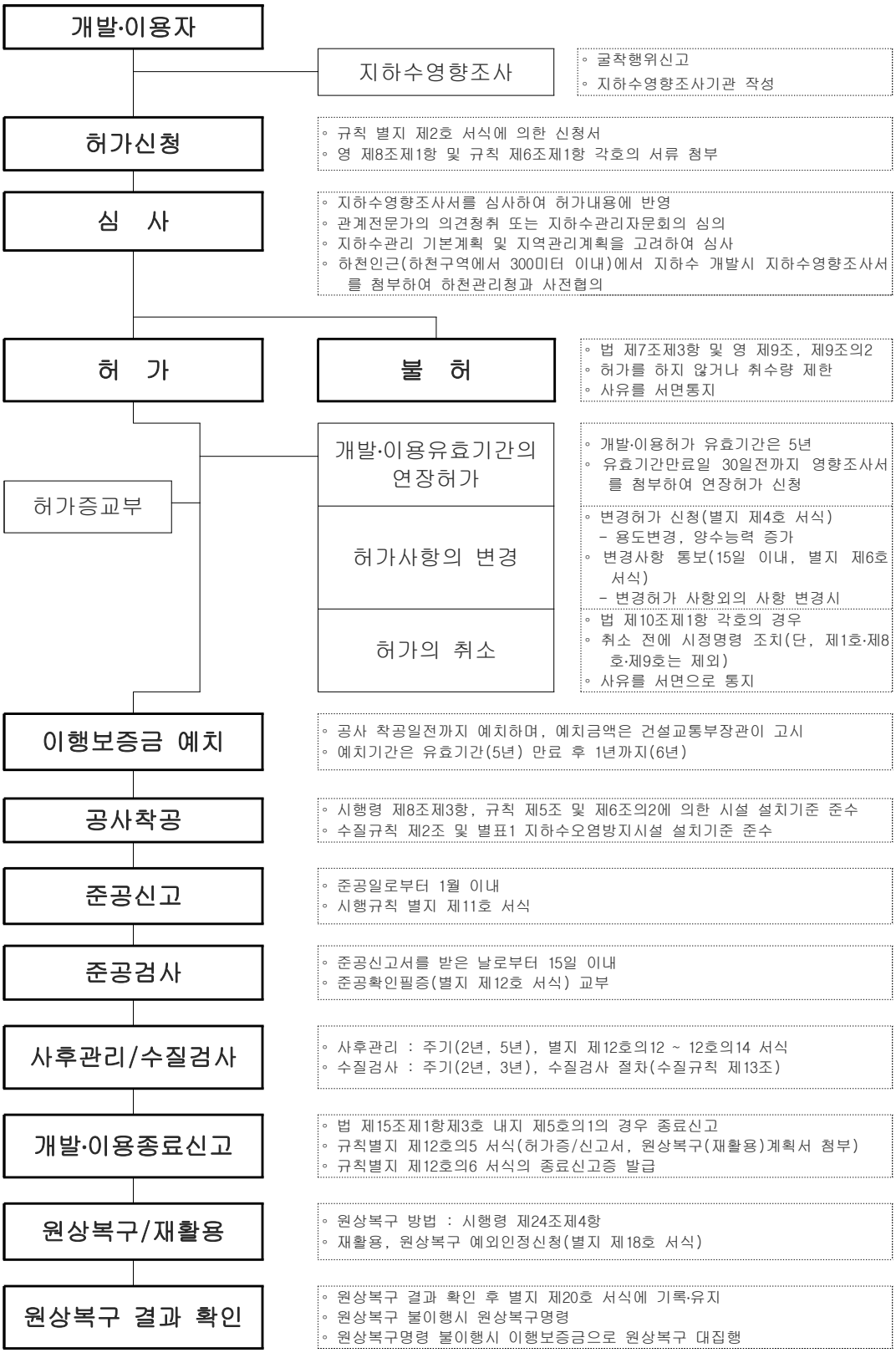
○ 동 시행령(대통령령 제20877호)에서 지열냉난방시설 중 지하수를 재주입하는 경우(이중관정형, SCW형)는 지하수개발·이용 사후관리대상에서 제외하였고(제14조4제4항제4호), 지하수이용부담금의 부과·징수대상에서 제외함(제40조2제1항제5호). 정기수질검사 제외 대상에서 추가(개정안 제29조제1항 단서)하지는 않음.

○ 지하수를 이용하는 지열시스템의 경우(개방형 및 SCW형) 지하수영향조사기관의 지하수영향조사를 수행하여야 함(지하수법 제7조, 제8조제1항제5호). 1일 양수능력 100톤 초과(안지름 40mm 초과 시)(시행령 제13조제4항).

○ 지하수법 시행규칙(일부개정 2008.6.23., 국토해양부령 제 21호)에서 지열시스템(개방형 및 SCW형)과 관련 조항으로 제5조(지하수개발·이용시설의 설치기준), 제6조(지하수개발·이용허가의 신청), 제8조(지하수개발·이용신고), 제9조4(지하수에 영향을 미치는 굴착행위의 신고), 제9조5(지하수개발·이용시설의 사후관리; 개정시행령에 따라 SCW형의 경우 사후관리대상에서 제외) 등.

○ 지하수의 수질보전 등에 관한 규칙(일부개정 2008.4.7, 환경부령 제 284호)제10조(수질검사대상), 제12조(수질검사의 주기, 개방형 및 SCW형 3년 마다 1회(생활용수기준)).

○ 지하수개발·이용의 허가 업무흐름도



제3장 연구개발수행 내용 및 결과

제1절 개방형지중열교환기 개발 및 현장 적용

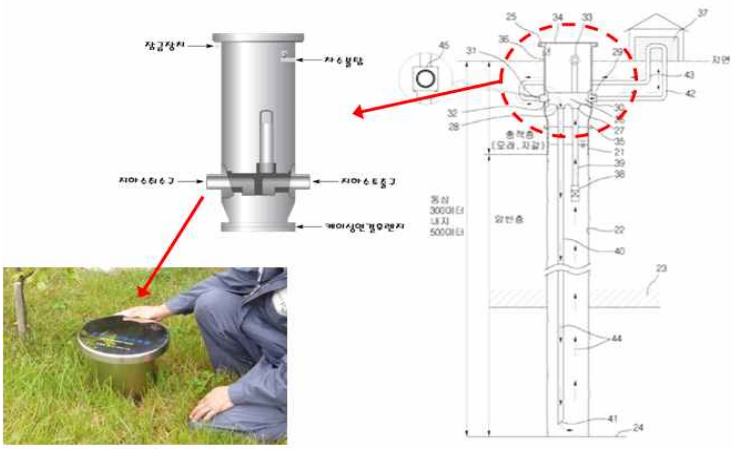
1. 연구개발의 개요

○ 본 연구개발은 지하수 자원을 냉난방의 에너지원으로 이용하는 지열냉난방시스템의 주요구성요소인 지중열교환기(지열공)의 설치시공 기술로, 관련설비의 안전성 및 기능성 확보로 유지•관리 효율성을 증대시킴으로써 지하수자원을 이용하는 개방형 지열냉난방시스템의 경제성 및 신뢰성을 도모하는데 목적을 두고 있다.

○ 이를 위해 본 연구개발에서는 다음과 같은 2분야로 나누어 연구를 수행하고장 하였다 : (1) 개방형지중열교환기의 지하수 순환체계 최적화 및 안전성확보 기술, (2) 안전성과 기능성을 확보한 밀폐식 지열상부보호 기술개발

○ 개방형지중열교환기의 지하수 순환체계 최적화 및 안전성확보 기술은 기존 지열공 내부보호관(PVC 파이프)으로 인하여 발생하는 문제들을 해결하기 위해서 암반나공 상태의 지열공에서 지하수순환경로를 최적화하여 안정된 열효율을 유지하는 한편, 공벽에서 유실된 암석 및 암분에 의해서 지하수 순환이 중단되는 하자발생 원인을 근본적으로 차단하여 지열공의 안전성을 확보하였으며 필요할 경우 정비 및 청소 등 개선조치 가능하도록 하였다.

○ 기능성을 확보한 밀폐식 지열상부보호 기술개발은 콘크리트 맨홀형태의 기존 개방형지중역교환기 상부보호시설에서 발생하는 외부 오염물질이 유입, 맨홀 내부의 습기에 의한 시설물 부식, 경울철 동파위험, 해충•먼지로 인한 장비이상의 위험성 높다. 이러한 기준 맨홀형태의 상부시설의 문제들을 해결하기 위해서 밀폐식 지열상부보호 기술을 개발하여 시설물 보호, 오염방지 및 동파방지 기능등의 안전성과 기능성을 확보한 개방형 상부보호기술을 개발하였다.



[그림 3-1] 지중열교환기의 친환경 기능성 확보기술

2. 연구개발의 구성 및 내용

가. 개방형지중열교환기의 지하수 순환체계 최적화 및 안정성확보 기술

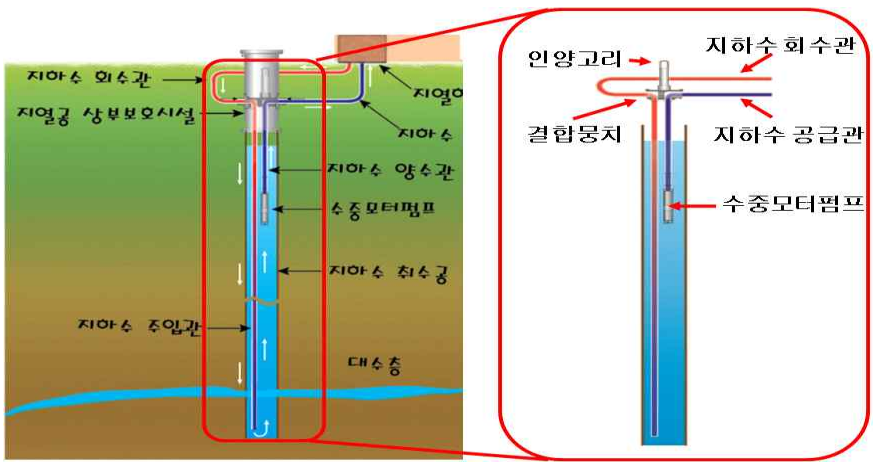
○ 개방형지중열교환기 밀폐형 상부보호관은 케이싱연결플랜지를 사용하여 지하수취수공 케이싱의 사단부에 결합하게 되며, 연결부의 내경은 지표하부케이싱의 내경과 동일한 직경을 갖지만 상측으로 올라갈수록 그 내경이 점차 증가하면서 충분한 작업공간을 확보하게 되므로 시설물결속뭉치 등 내부 시설물의 설치 및 분리작업이 매우 편리

○ 시설물결속뭉치의 하부에 지하수양수관 및 수중모타펌프와 지하수주입관이 체결되어 있고, 시설물결속뭉치는 별도의 결속부재 없이 무게 자중에 의해서 상기 상부원형관의 내주면에 밀착되어 결속되면서 수밀성 확보

○ 시설물결속뭉치를 상부원형관의 내주면에 밀착시키면 시설물결속뭉치의 지하수토출로 및 지하수회수로가 상부원형관의 지하수토출구 및 지하수회수구에 자동으로 연결·연락되면서 별도의 작업 없이 지하수취수공-수중모타펌프-지하수양수관-지하수토출로-지하수토출구-지하수공급관-기계실열교환기-지하수회수관-지하수회수구-지하수회수로-지하수주입관-지하수취수공으로 이어지는 지하수순환체계 완성

○ 여기에 시설물결속뭉치에 구비된 지하수양수관체결구에 연결되는 지하수양수관 및 수중모타펌프는 지하수취수공의 상부측에 위치하게 하고, 지하수주입관체결구에 연락되는 지하수주입관의 아래 끝단을 지하수취수공의 하단부에 위치하게 함으로써 지하수순환경로를 최적화

○ 사후, 개방형지중열교환기의 점검 또는 정비가 필요한 경우에 상기 시설물결속뭉치를 당겨 올리면 상부원형관의 내주면에서 분리되면서 지하수양수관 및 수중모타펌프와 지하수주입관을 간편하게 인양할 수 있게 함으로써 사후 유지관리 효율성 확보

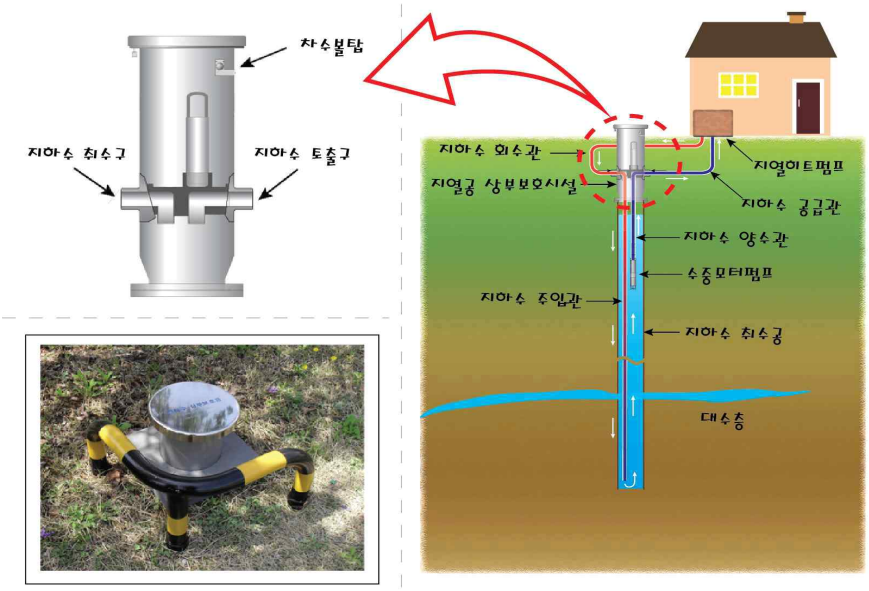


[그림 3-2] 지하수자원의 순환경로를 최적화하는 개방형지중열교환기 구성도

나. 기능성을 확보한 개방형지중열교환기 밀폐형 상부보호관 기술개발

○ 지하수를 이용하기 위해 개발되는 지하수취수공의 지표하부공벽에 매설되는 지표하부케이싱 상단부에, 양쪽 측면부에 지하수토출구 및 지하수회수구가 각각 구비되어 지하수취수공과 상하로 연락되는 연장공간을 형성하면서 상부를 밀폐하는 상부원형관을 적용함으로서 지중열교환기 안에 있는 시설물을 보호하는 한편, 외부오염물질 유입을 효과적으로 방지하여야 한다.

○ 또한 상부원형관의 내부에 위치하고, 원형관의 내부면에 밀착되면서 지하수토출구와 지하수회수구에 자동으로 연락·연통되는 지하수토출로와 지하수회수로가 구비되고 아래면에 지하수토출로와 연락통로를 가진 지하수양수관체결구 및 지하수회수로와 연락통로를 가진 지하수주입관체결구가 구비되는 시설물결속뭉치를 동결선 아래에 설치하도록 구성되는 '개방형지중열교환기 상부밀폐 및 유체순환장치' 개발·적용으로 동절기 시설물 동파 방지하는 것을 목표로 한다.



[그림 3-3] 개방형 지열교환기 보호 및 유체순환장치 구성도

(1) 기존 지중열교환기 상부보호시설의 문제점

○ 외부 오염물질이 손쉽게 유입되어 지하수 오염 가능성 높음.

○ 혹한기에 시설물이 동파에 노출되어 시설물 보호기능이 매우 취약함.

○ 지열공내 설치된 시설물, 습기로 인한 전기적 부식 · 절연불량 및 해충 · 먼지로 인한 장비 이상

○ 콘크리트 맨홀의 규격 문제로 일정한 전용공간 필요 및 미관상의 문제



[그림 3-4] 기존 지중열교환기 상부보호시설 전경

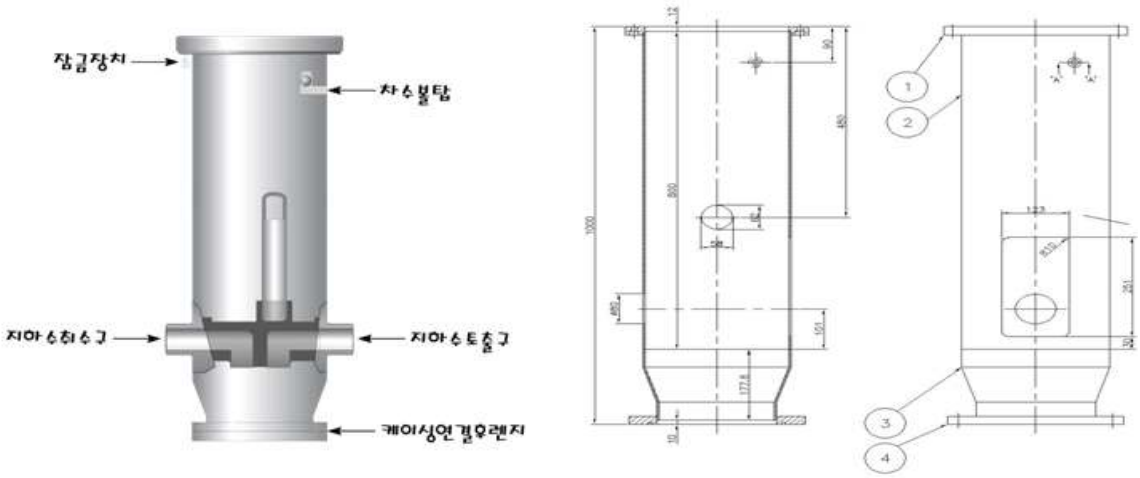
(2) 기존 지중열교환기 상부보호시설 개발의 착안점

○ 지열공 내부시설물(양수시설, 지하수주입관)의 일체화로 설치시공 및 사후 유지관리 편리성 확보

○ 완전 밀폐식 상부보호시설로 지열공 내부시설보호 및 외부오염물질 유입 방지

○ 지열공 시설물 결속 게이트를 동결선 아래에 설치하여 동파방지

○ 지열공 시설물의 일체화로 추후 유지관리 인량 및 설치의 편리성 도모.



[그림 3-5] 지열용 상부보호 시설 개략도

(3) 지중열교환기 상부보호시설의 설계

(가) 상부보호시설의 사양

○ 장치 구성

– 본체(원형스테인리스), 지하수 취수 및 토출구, 차수볼탑, 덮개, 시설물 결속게이트, 인양 고리

○ 주요사양

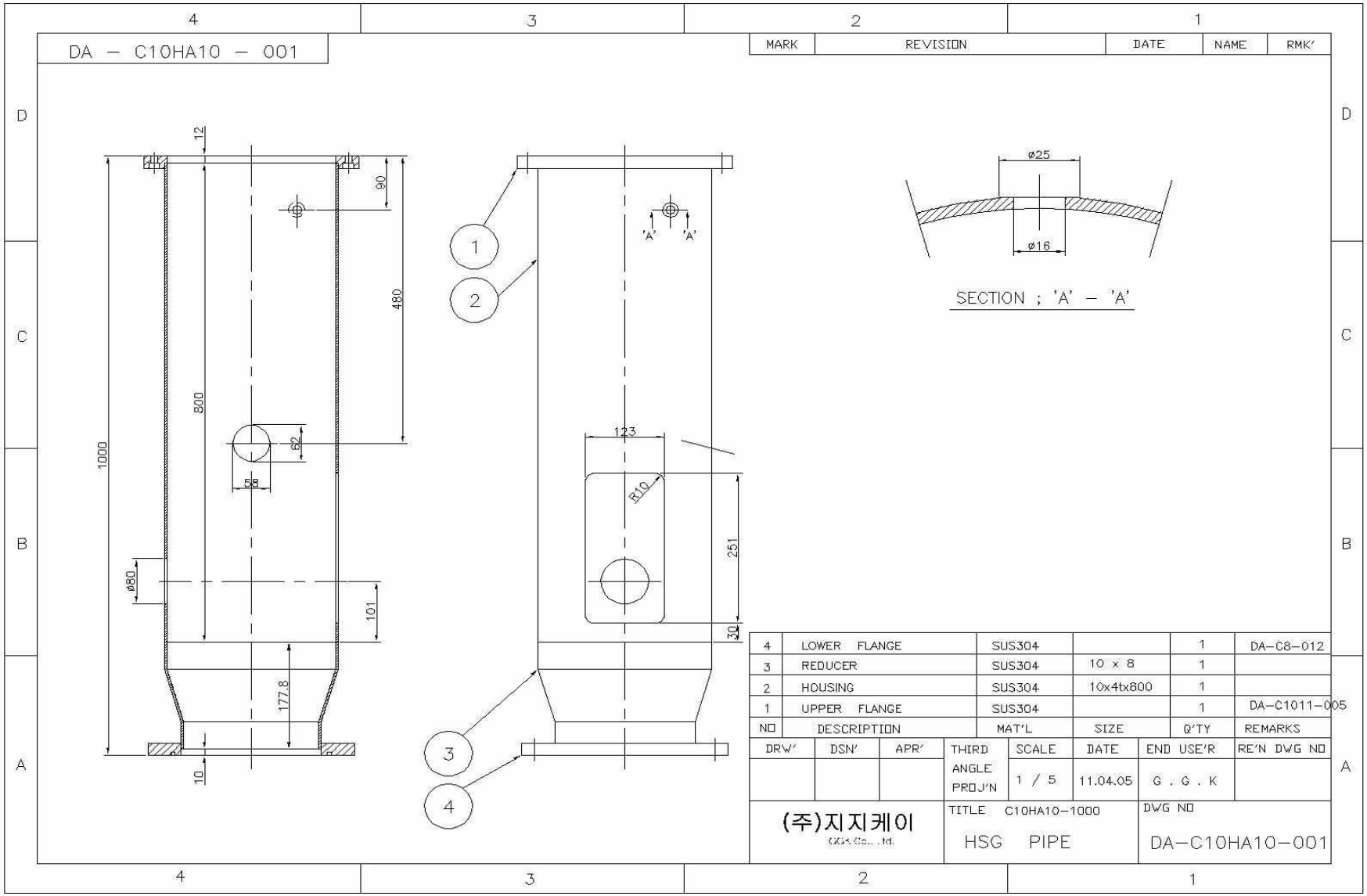
■ 본체
- 길이 120cm
- 외경 : 상부 250mm, 하부 200mm

■ 시설물 결속게이트
- 안전하중 : 10ton 이상
- 완전 방수기능으로 누수 방지

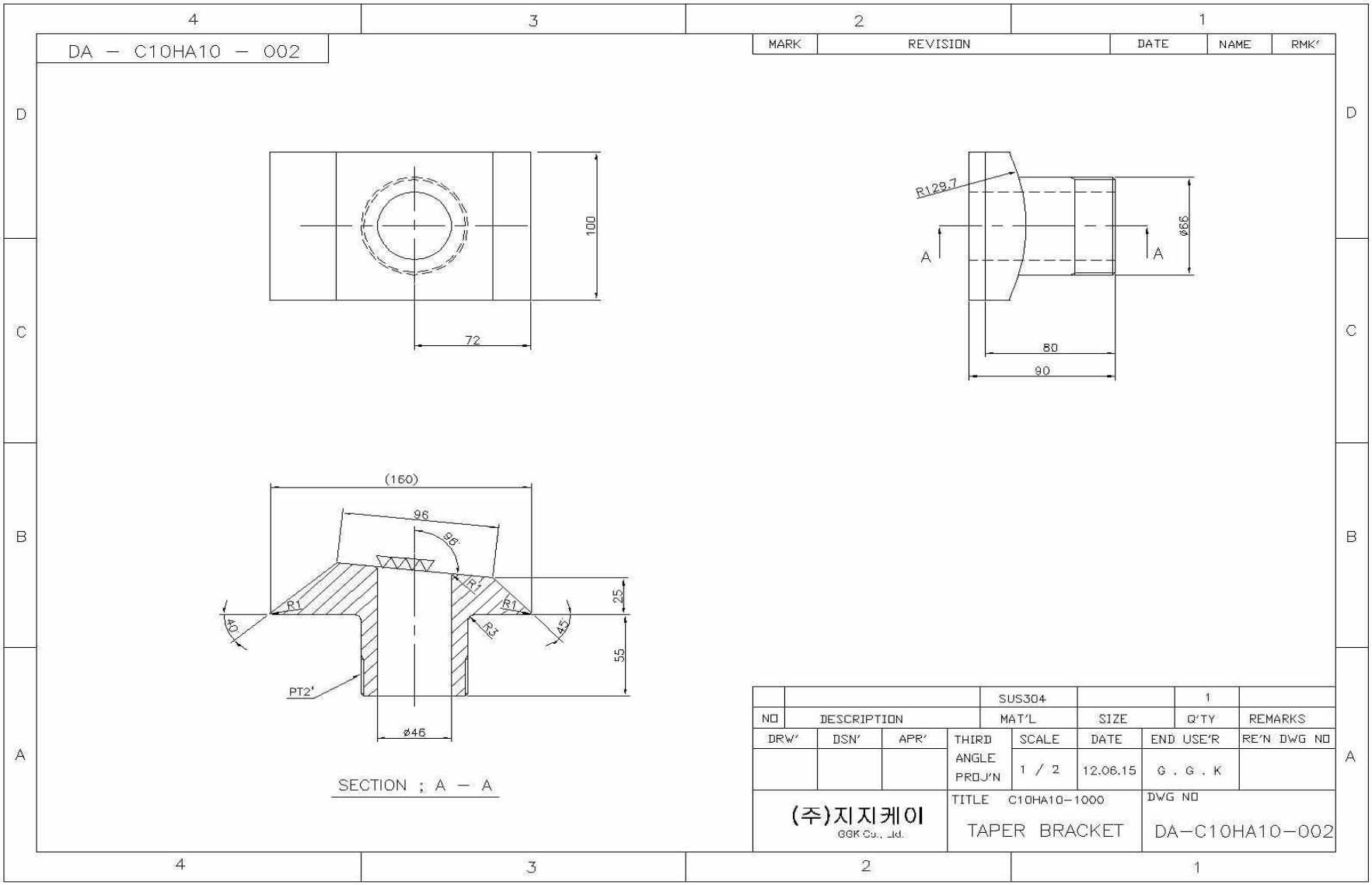
(다) 주요 부품

<table>
<tr>
<td> 
</td>
<td> 
</td>
</tr>
<tr>
<td> 
</td>
<td> 
</td>
</tr>
</table>

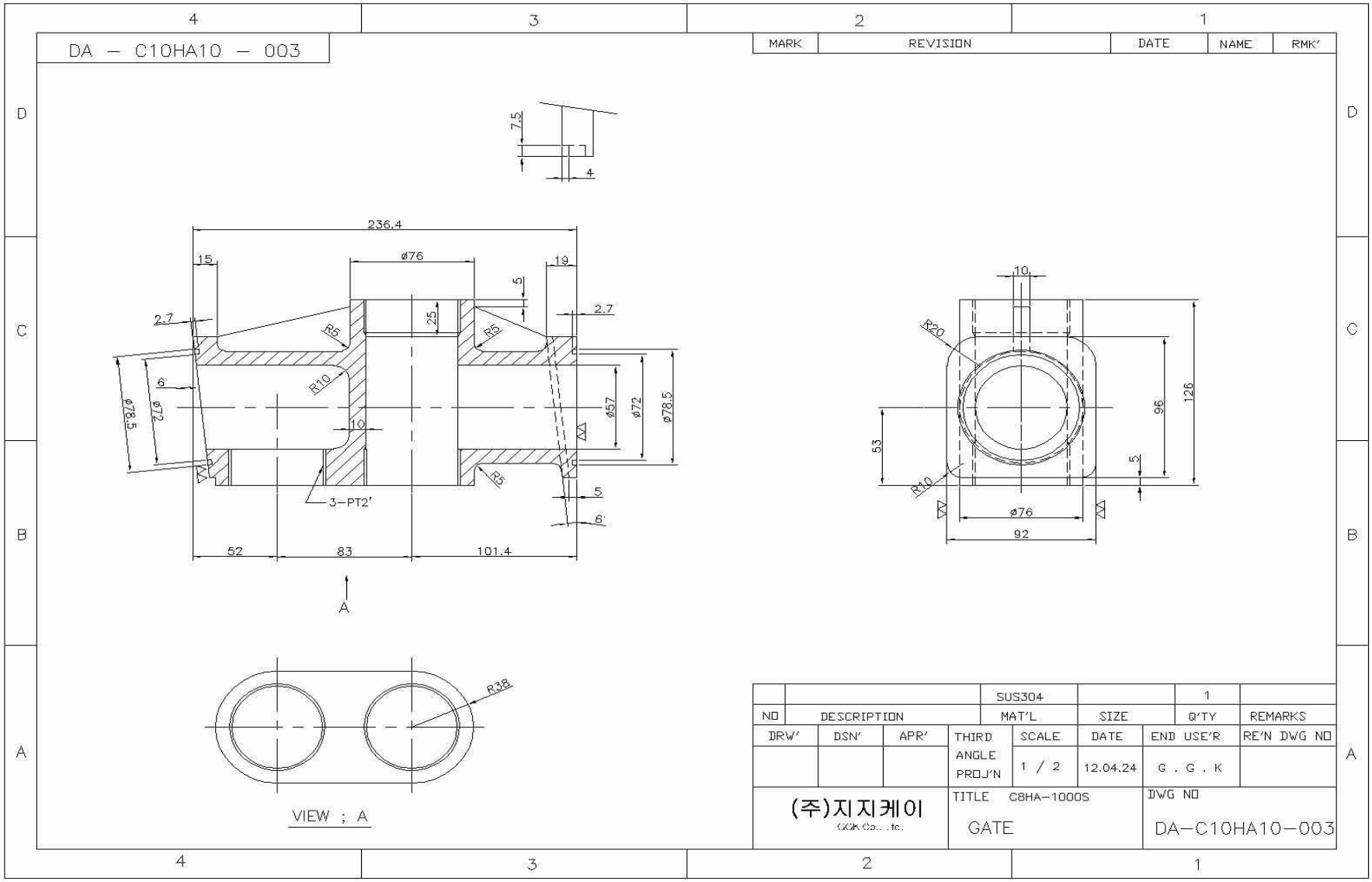
■ 도면


DA – C10HA10 – 001
MARK
REVISION
DATE
NAME
RMK'
12
90
480
800
1000
62
58
ø80
101
177.8
10
123
R10
251
30
'A'
'A'
1
2
3
4
ø25
ø16
SECTION ; 'A' – 'A'
4 LOWER FLANGE SUS304 1 DA-C8-012
3 REDUCER SUS304 10 x 8 1
2 HOUSING SUS304 10x4tx800 1
1 UPPER FLANGE SUS304 1 DA-C1011-005
NO DESCRIPTION MAT'L SIZE Q'TY REMARKS
DRW' DSN' APR'
THIRD ANGLE PROJ'N
SCALE 1 / 5
DATE 11.04.05
END USE'R G . G . K
RE'N DWG NO
(주)지지케이
TITLE C10HA10-1000
HSG PIPE
DWG NO
DA-C10HA10-001

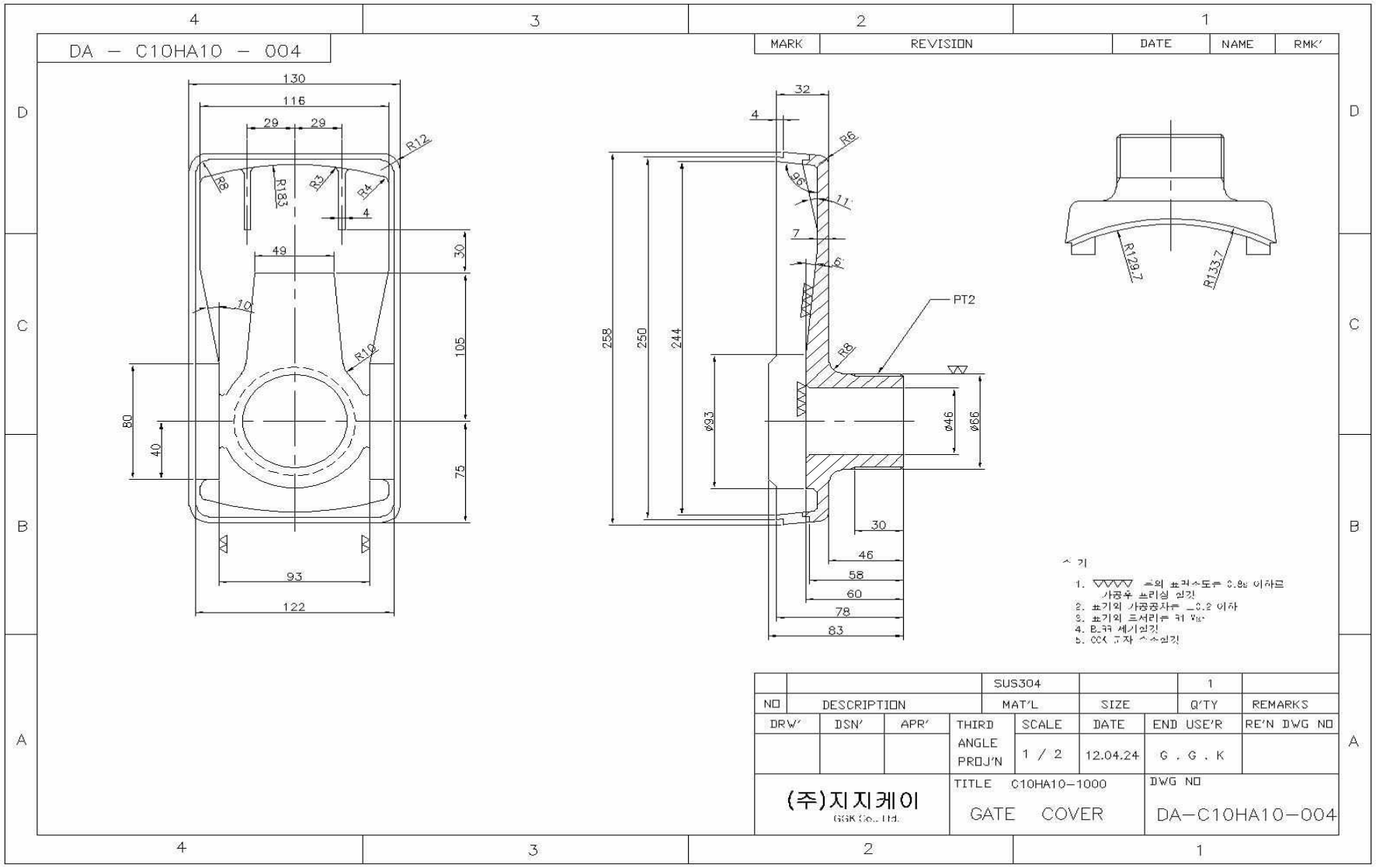
■ 도면


DA – C10HA10 – 002
MARK
REVISION
DATE
NAME
RMK'
100
72
R129.7
Ø66
A
A
80
90
(160)
96
96
R1
R1
R1
R3
25
55
40
45
PT2'
Ø46
SECTION ; A – A
SUS304
1
NO
DESCRIPTION
MAT'L
SIZE
Q'TY
REMARKS
DRW'
DSN'
APR'
THIRD ANGLE PROJ'N
SCALE
1 / 2
DATE
12.06.15
END USE'R
G . G . K
RE'N DWG NO
(주)지지케이
GGK Co., Ltd.
TITLE C10HA10-1000
TAPER BRACKET
DWG NO
DA-C10HA10-002

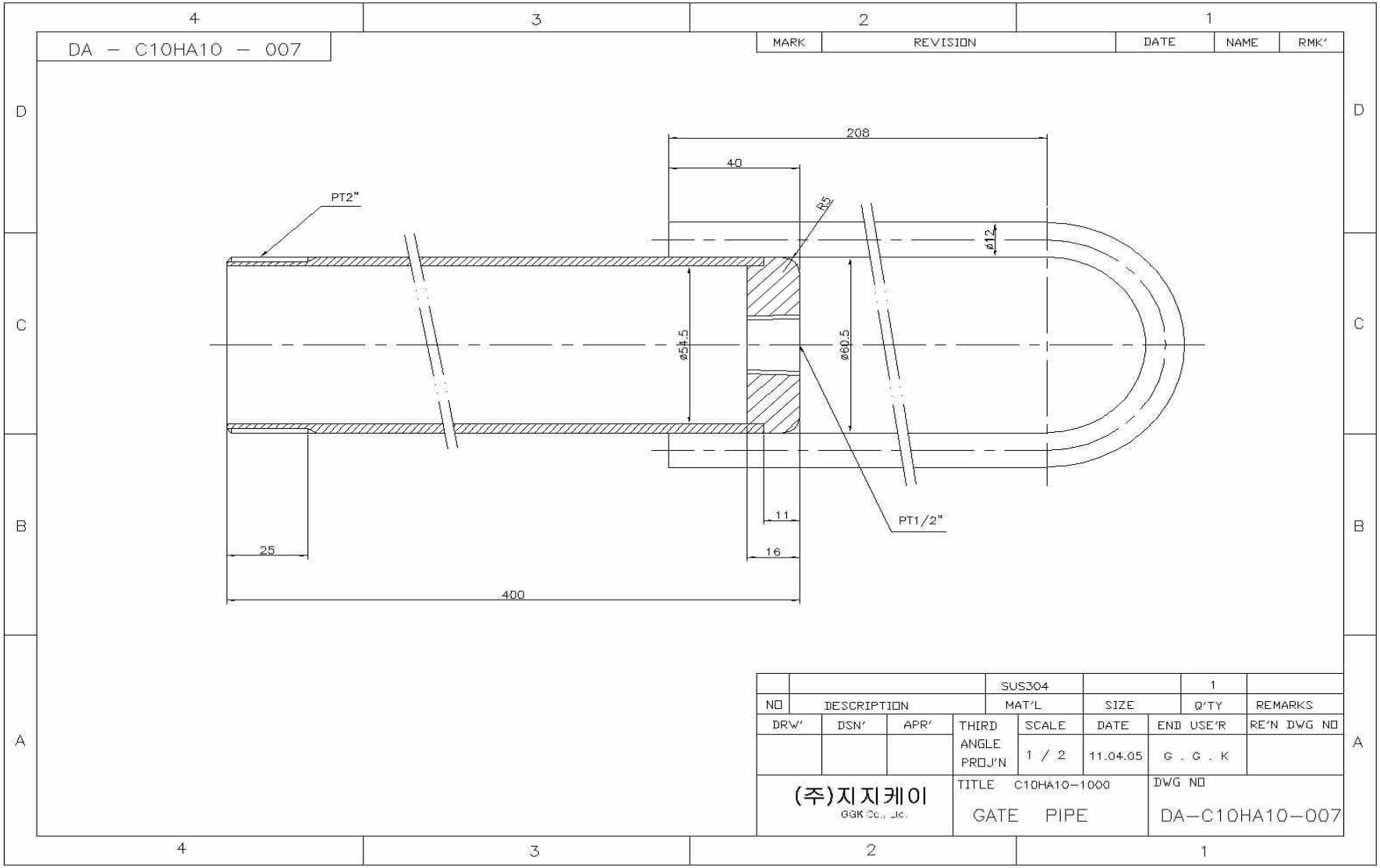
■ 도면


DA – C10HA10 – 003
MARK
REVISION
DATE
NAME
RMK'
236.4
15
ø76
19
5
2.7
2.7
25
R5
R5
R10
6
ø78.5
ø72
10
ø57
ø72
ø78.5
3–PT2'
R5
5
6
52
83
101.4
A
7.5
4
10
R20
126
96
53
5
R10
ø76
92
R38
VIEW ; A
SUS304
1
NO
DESCRIPTION
MAT'L
SIZE
Q'TY
REMARKS
DRW'
DSN'
APR'
THIRD ANGLE PROJ'N
SCALE
1 / 2
DATE
12.04.24
END USE'R
G . G . K
RE'N DWG NO
(주)지지케이
TITLE
C8HA-1000S
GATE
DWG NO
DA-C10HA10-003

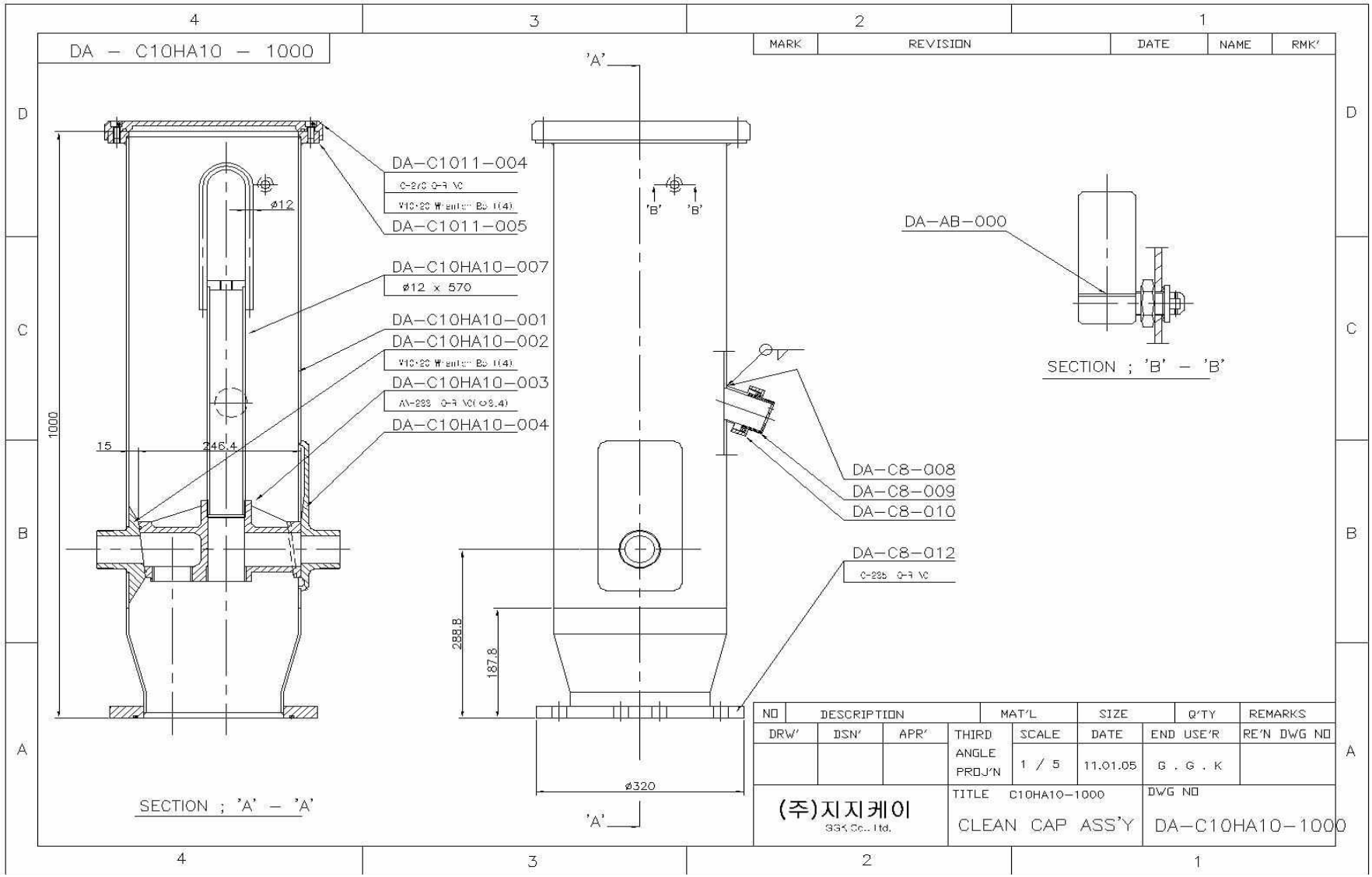
■ 도면


DA – C10HA10 – 004
MARK
REVISION
DATE
NAME
RMK'
130
116
29
29
R12
R8
R183
R3
R4
4
49
30
10
105
R10
80
40
75
93
122
32
4
R6
6°
11
7
6
PT2
258
250
244
R8
ø93
ø46
ø66
30
46
58
60
78
83
R129.7
R133.7
SUS304
1
NO
DESCRIPTION
MAT'L
SIZE
Q'TY
REMARKS
DRW'
DSN'
APR'
THIRD ANGLE PROJ'N
SCALE
1 / 2
DATE
12.04.24
END USE'R
G . G . K
RE'N DWG NO
(주)지지케이
GGK Co., Ltd.
TITLE
C10HA10–1000
GATE COVER
DWG NO
DA–C10HA10–004

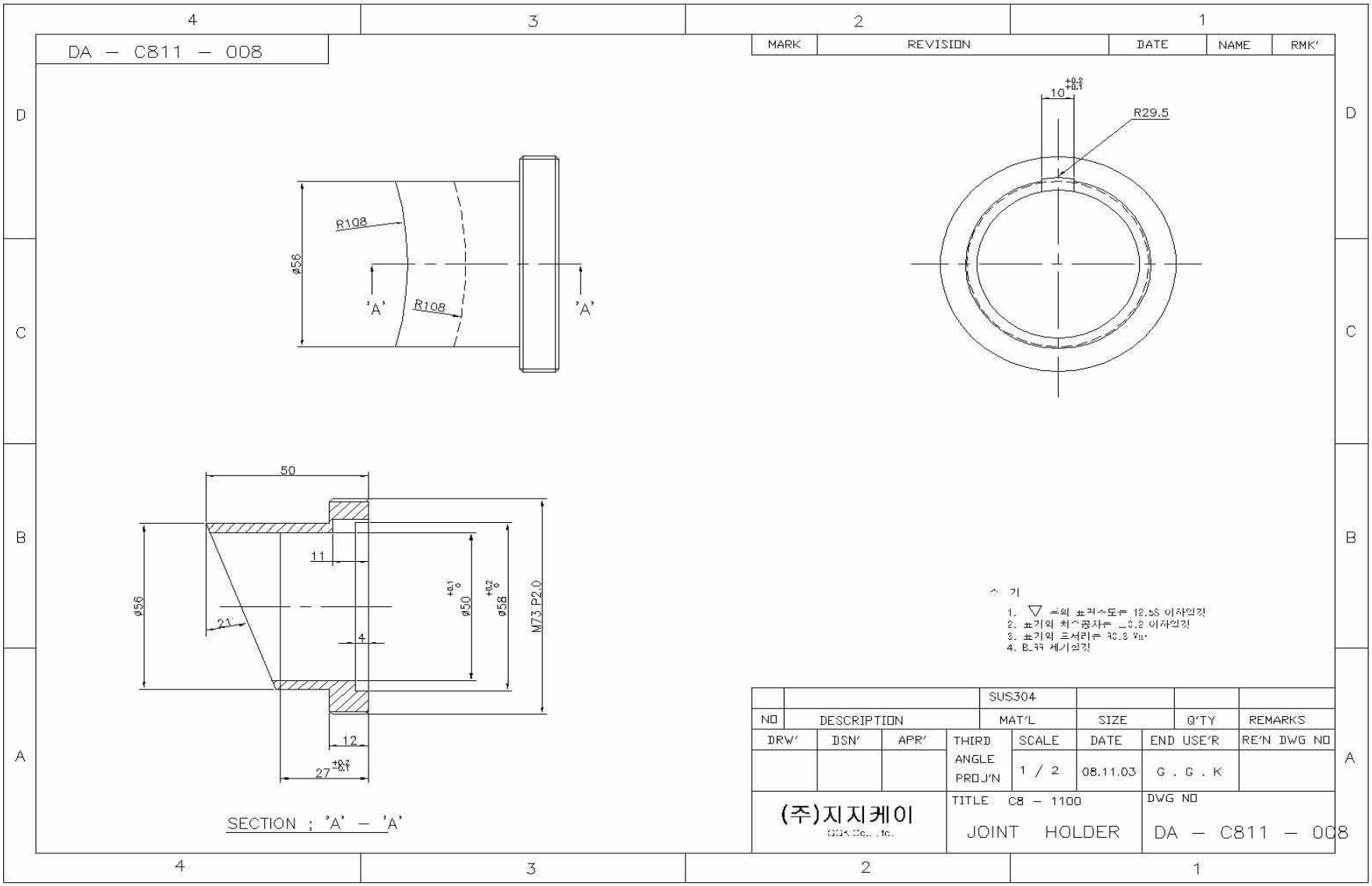
■ 도면


DA – C10HA10 – 007
MARK
REVISION
DATE
NAME
RMK'
208
40
PT2"
R5
ø12
ø54.5
ø60.5
PT1/2"
11
16
25
400
SUS304
1
NO
DESCRIPTION
MAT'L
SIZE
Q'TY
REMARKS
DRW'
DSN'
APR'
THIRD ANGLE PROJ'N
SCALE
1 / 2
DATE
11.04.05
END USE'R
G . G . K
RE'N DWG NO
(주)지지케이
GGK Co., Ltd.
TITLE C10HA10-1000
GATE PIPE
DWG NO
DA-C10HA10-007

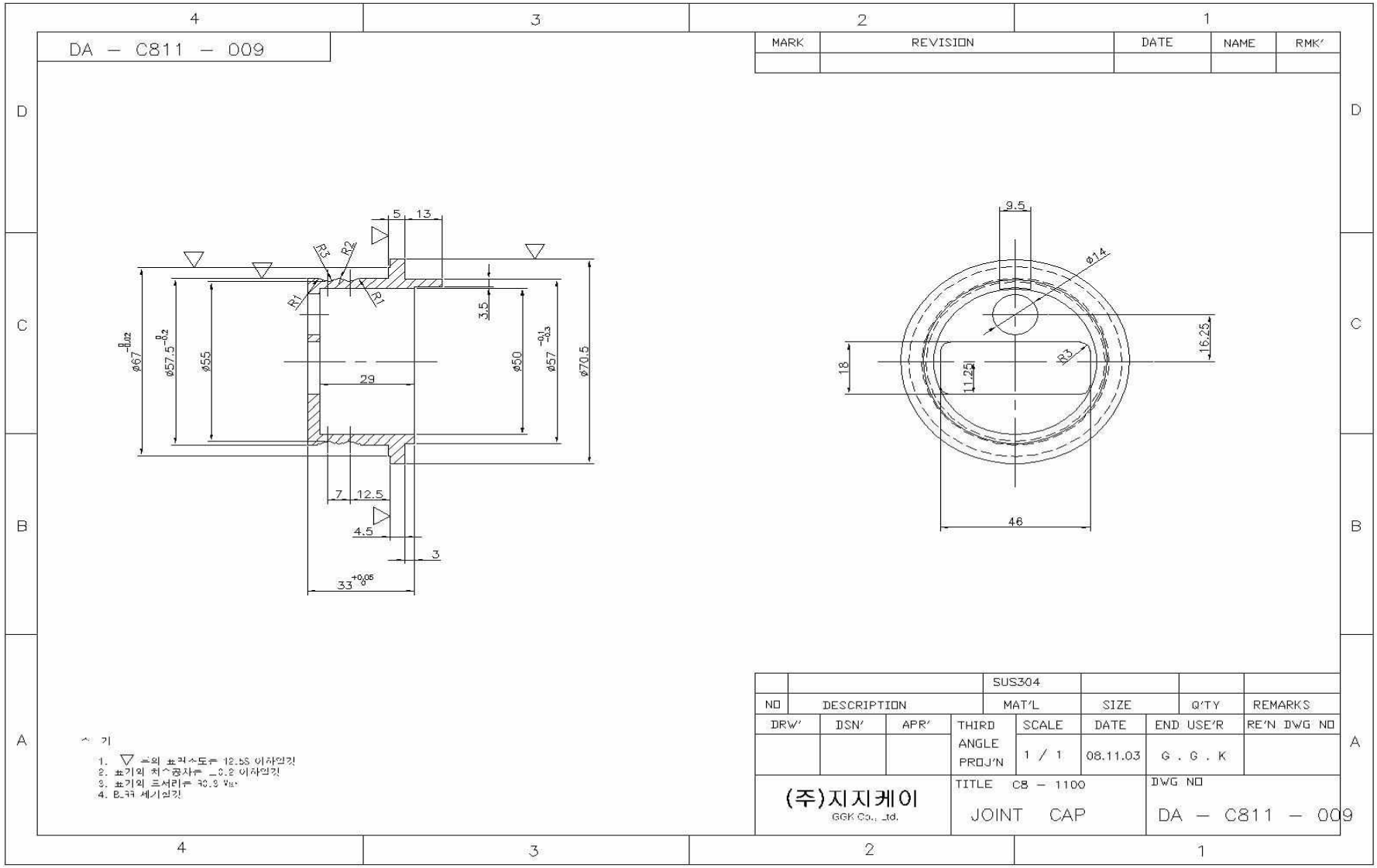
■ 도면


DA – C10HA10 – 1000
MARK
REVISION
DATE
NAME
RMK'
DA–C1011–004
DA–C1011–005
DA–C10HA10–007
ø12 x 570
DA–C10HA10–001
DA–C10HA10–002
DA–C10HA10–003
DA–C10HA10–004
DA–AB–000
DA–C8–008
DA–C8–009
DA–C8–010
DA–C8–012
ø12
1000
15
246.4
288.8
187.8
ø320
'A'
'B'
SECTION ; 'A' – 'A'
SECTION ; 'B' – 'B'
NO
DESCRIPTION
MAT'L
SIZE
Q'TY
REMARKS
DRW'
DSN'
APR'
THIRD ANGLE PROJ'N
SCALE
1 / 5
DATE
11.01.05
END USE'R
G . G . K
RE'N DWG NO
(주)지지케이
TITLE C10HA10–1000
CLEAN CAP ASS'Y
DWG NO
DA–C10HA10–1000

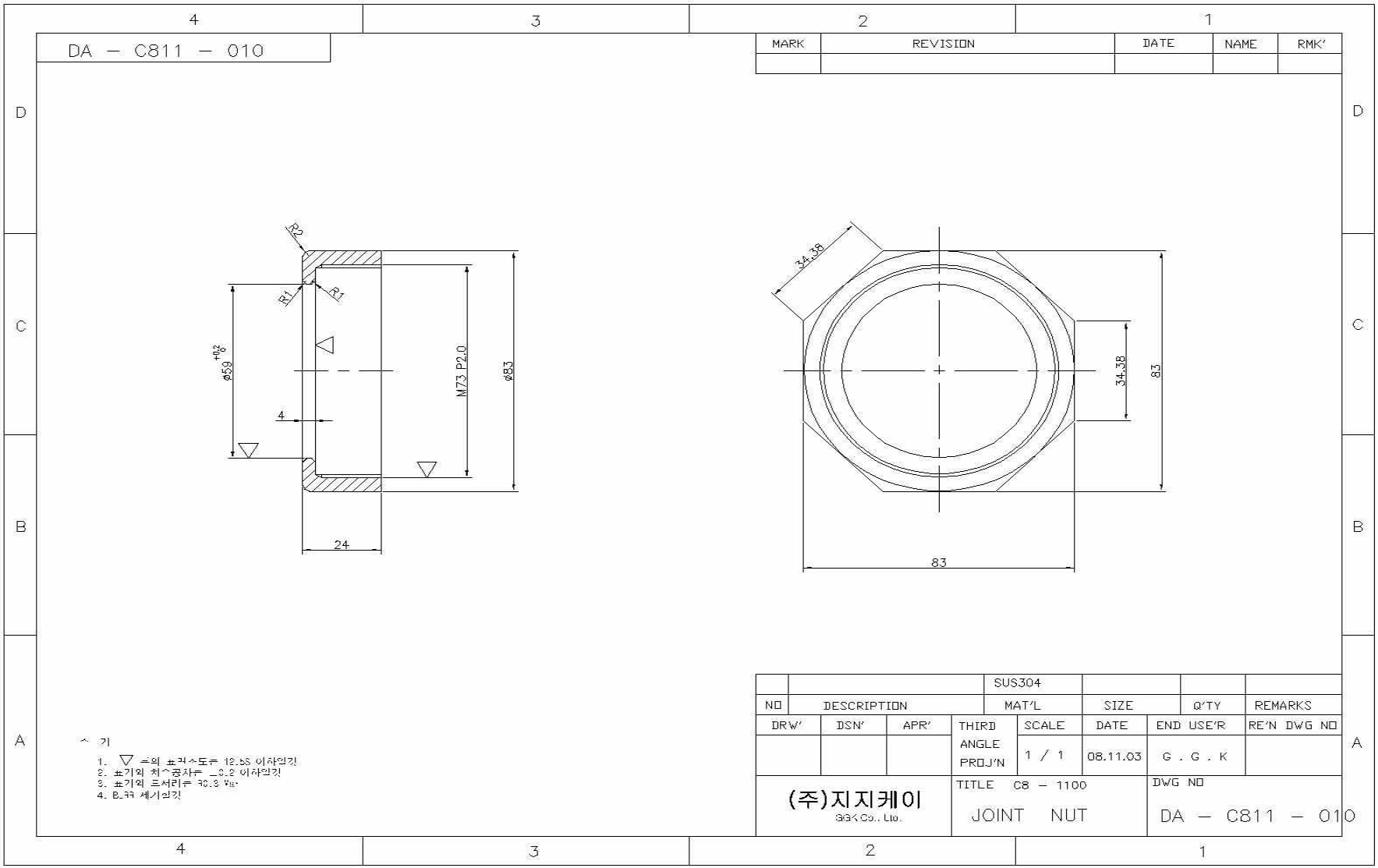
■ 도면


DA – C811 – 008
MARK
REVISION
DATE
NAME
RMK'
R108
ø56
'A'
R108
'A'
10 +0.2 +0.1
R29.5
50
11
ø56
21°
4
ø50 +0.1 0
ø58 +0.2 0
M73 P2.0
12
27 +0.2 +0.1
SECTION ; 'A' – 'A'
1. ▽ 의 표면거칠기는 12.5S 이하일것
2. 표기없는 치수공차는 ±0.2 이하일것
3. 표기없는 크기리는 R0.3 Max
4. B-33 세기일것
SUS304
NO
DESCRIPTION
MAT'L
SIZE
Q'TY
REMARKS
DRW'
DSN'
APR'
THIRD ANGLE PROJ'N
SCALE 1 / 2
DATE 08.11.03
END USE'R G . G . K
RE'N DWG NO
(주)지지케이
TITLE C8 – 1100
JOINT HOLDER
DWG NO
DA – C811 – 008

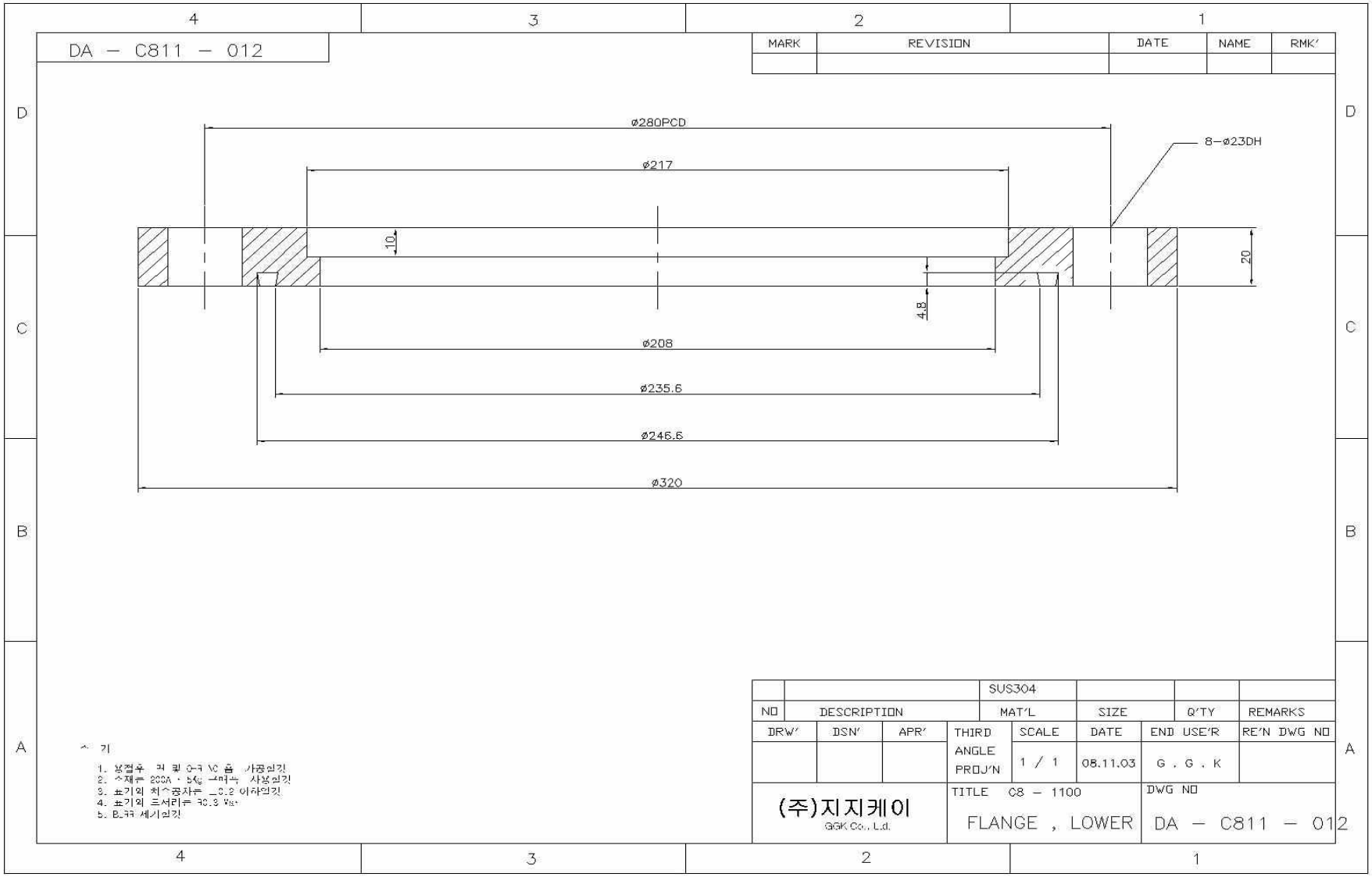
■ 도면


DA – C811 – 009
MARK
REVISION
DATE
NAME
RMK'
5
13
R3
R2
R1
R1
3.5
ø67 0 -0.02
ø57.5 -0.2
ø55
29
ø50
ø57 -0.1 -0.3
ø70.5
7
12.5
4.5
3
33 +0.05 0
9.5
ø14
16.25
18
11.25
R3
46
SUS304
NO
DESCRIPTION
MAT'L
SIZE
Q'TY
REMARKS
DRW'
DSN'
APR'
THIRD ANGLE PROJ'N
SCALE
1 / 1
DATE
08.11.03
END USE'R
G . G . K
RE'N DWG NO
(주)지지케이
GGK Co., Ltd.
TITLE C8 – 1100
JOINT CAP
DWG NO
DA – C811 – 009
1. ▽ 로의 표면조도는 12.5S 이하일것
2. 표기외 치수공차는 ±0.2 이하일것
3. 표기외 크셔리는 R0.3 적용
4. B-33 세기일것

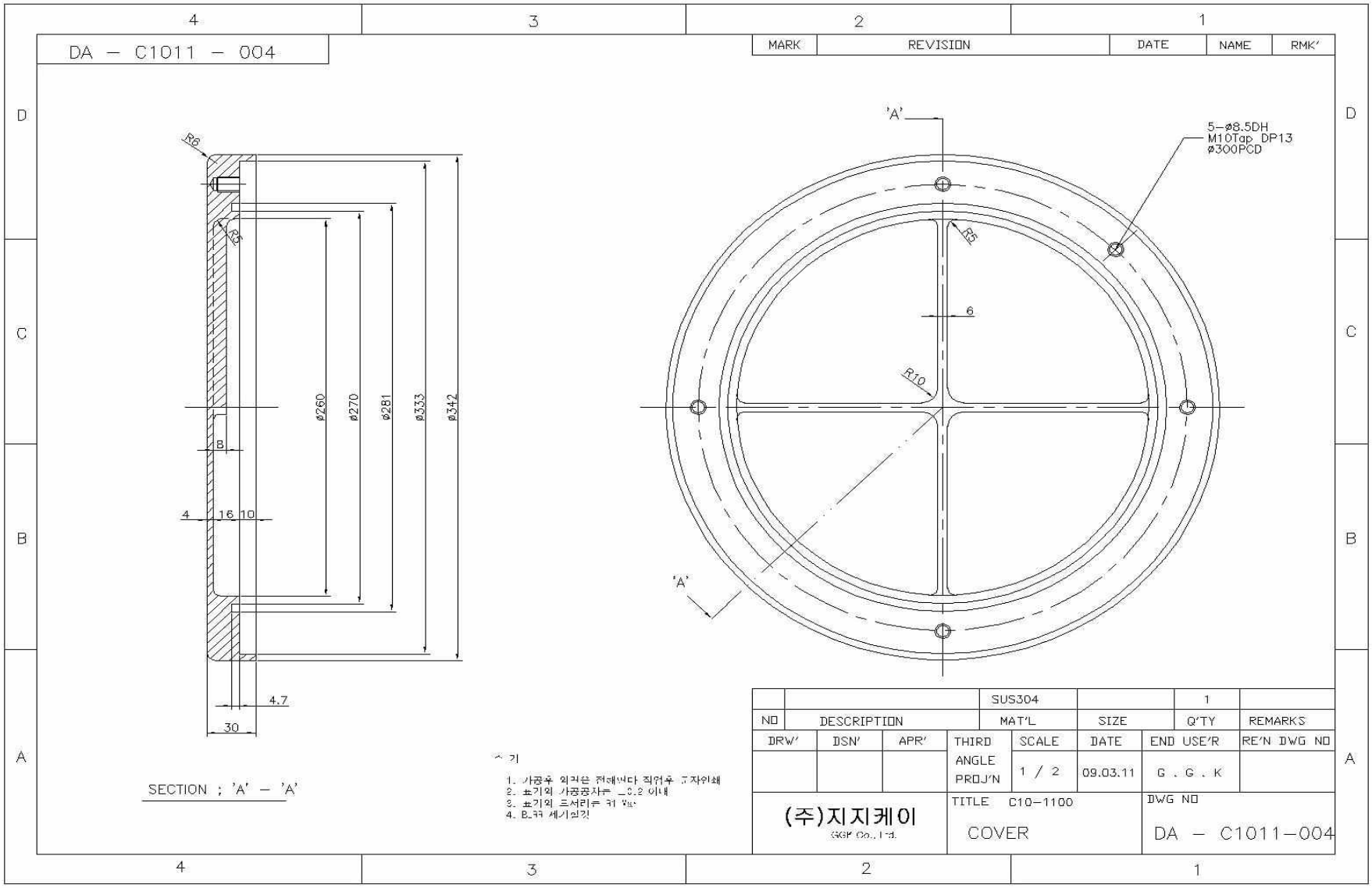
■ 도면


DA – C811 – 010
MARK
REVISION
DATE
NAME
RMK'
R2
R1
R1
ø59 +0.2 0
M73 P2.0
ø83
4
24
34.38
34.38
83
83
SUS304
NO
DESCRIPTION
MAT'L
SIZE
Q'TY
REMARKS
DRW'
DSN'
APR'
THIRD ANGLE PROJ'N
SCALE
1 / 1
DATE
08.11.03
END USE'R
G . G . K
RE'N DWG NO
(주)지지케이
GGK Co., Ltd.
TITLE C8 – 1100
JOINT NUT
DWG NO
DA – C811 – 010
1. ▽ 의 표면거칠기는 12.5S 이하일것
2. 표기의 치수공차는 ±0.2 이하일것
3. 표기의 크기리는 R0.3 이하
4. 열처리 생략일것

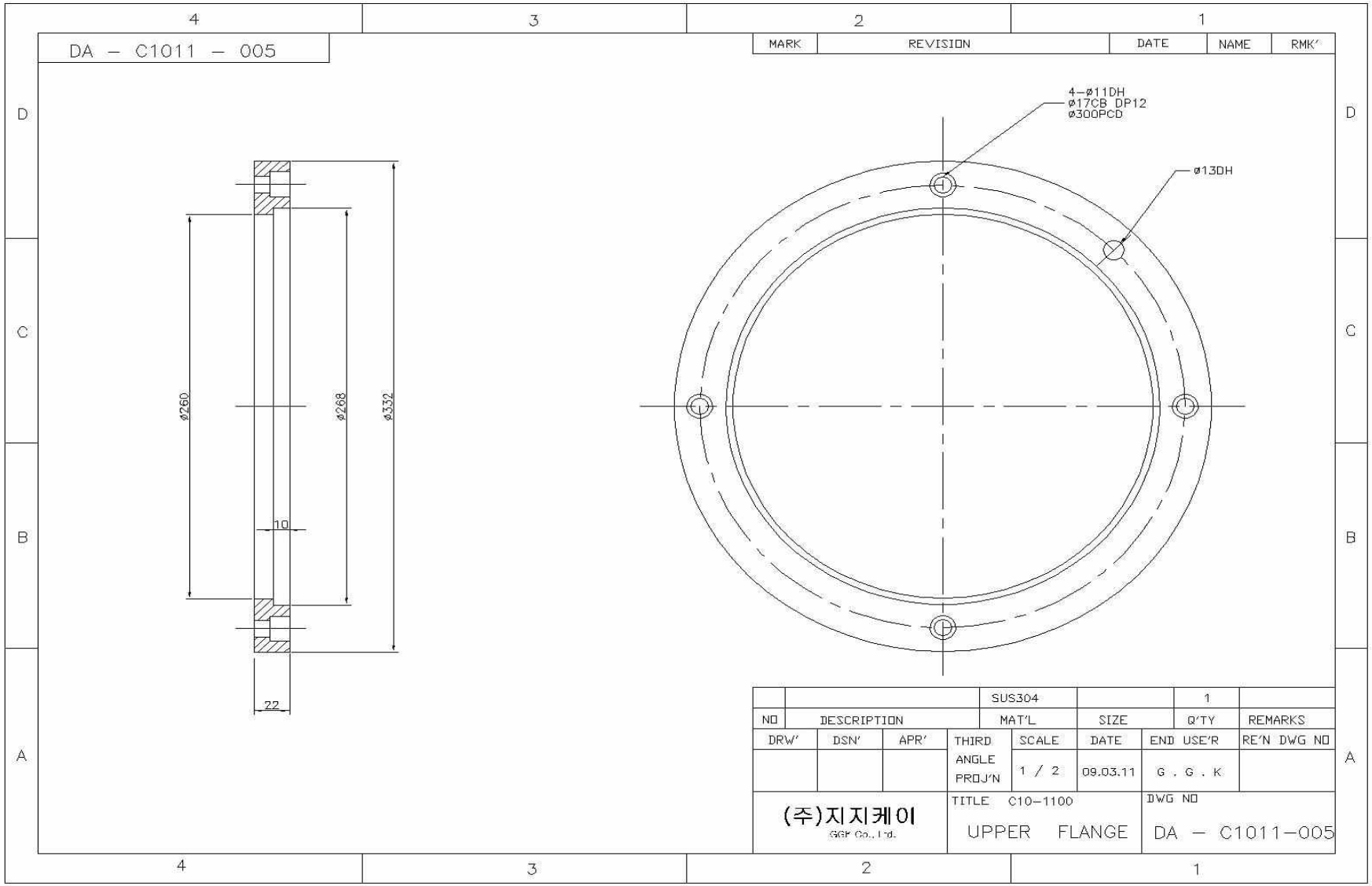
■ 도면


DA – C811 – 012
MARK
REVISION
DATE
NAME
RMK'
ø280PCD
8–ø23DH
ø217
10
20
4.8
ø208
ø235.6
ø246.6
ø320
SUS304
NO
DESCRIPTION
MAT'L
SIZE
Q'TY
REMARKS
DRW'
DSN'
APR'
THIRD ANGLE PROJ'N
SCALE
1 / 1
DATE
08.11.03
END USE'R
G . G . K
RE'N DWG NO
(주)지지케이
GGK Co., Ltd.
TITLE C8 – 1100
FLANGE , LOWER
DWG NO
DA – C811 – 012

■ 도면


DA – C1011 – 004
MARK
REVISION
DATE
NAME
RMK'
R6
R5
ø260
ø270
ø281
ø333
ø342
B
4
16
10
4.7
30
SECTION ; 'A' – 'A'
'A'
5–ø8.5DH
M10Tap DP13
ø300PCD
R5
6
R10
'A'
1. 사공후 외각은 전해연마 적연후 그자위해
2. 표기외 사공공차는 ±0.2 이내
3. 표기외 드셔리우 ㄱ 있음
4. B.ㄱㄱ 세기입김
SUS304
1
NO
DESCRIPTION
MAT'L
SIZE
Q'TY
REMARKS
DRW'
DSN'
APR'
THIRD ANGLE PROJ'N
SCALE
1 / 2
DATE
09.03.11
END USE'R
G . G . K
RE'N DWG NO
(주)지지케이
GGK Co., Ltd.
TITLE C10–1100
COVER
DWG NO
DA – C1011–004

■ 도면


DA – C1011 – 005
MARK
REVISION
DATE
NAME
RMK'
4–ø11DH
ø17CB DP12
ø300PCD
ø13DH
ø260
ø268
ø332
10
22
SUS304
1
NO
DESCRIPTION
MAT'L
SIZE
Q'TY
REMARKS
DRW'
DSN'
APR'
THIRD ANGLE PROJ'N
SCALE
1 / 2
DATE
09.03.11
END USE'R
G . G . K
RE'N DWG NO
(주)지지케이
GGK Co., Ltd.
TITLE C10–1100
UPPER FLANGE
DWG NO
DA – C1011–005

3. 개방형 지중열교환기의 현장 적용

○ 지열히트펌프의 시공절차는 ① 건물 냉난방 부하계산(동적 열부하), ② 지중열교환기 설치부 지반 및 현장조사, ③ 경제성 분석 및 지열교환기 형식 결정, ④ 지중열교환기 크기 및 열펌프 용량 산정, ⑤ 천공 작업후 내부시설물 설치, ⑥ 지중열교환기 헤드 및 배관연결, ⑦ 시스템 시험 가동 및 최적화 등의 순서로 시공되고 있다.

○ 본 연구개발에서는 개방형지중열교환기 개발에 관련되는 현장조사, 설계, 시공 및 지중열교환기 형식별 효율검증 등을 주요 목적으로 한다.

가. 시범시설 선정

○ 본 연구개발의 시범시설은 충청남도 아산시 탕정면 동산리 177-1번지에 위치한 (주)농심아산공장을 시범시설대상지로 선정하였다. 동 지역은 [그림 3-4]과 같이 편마암성화강암 지역으로 기존에 5공에서 약 300ton/D의 지하수를 사용하고 있으며, 지하수공의 위치 [그림 3-5]와 같이 공장건물을 중심으로 북쪽과 동쪽에 편중되어 있어 본 과제에서는 서쪽을 지열교환기 설치 대상위치로 선정하였다.

○ 본 연구대상인 지중열교환기는 신설되는 제분공장 포장실 냉난방시설의 열원으로 공급될 계획이다.

○ 신재생에너지 R&D 전략 2030에 따르면 “지열 시스템의 지중열교환기 설계나 성능에 영향을 미치는 지중열 물성치는 열전도도와 열물확산계수라고 할 수 있다. 일반적으로 암석의 열전도도나 열확산계수는 토양(흙)보다는 크며, 암석이나 흙은 모두 건조한 상태보다 습한 상태일 때 큰 값을 갖는 것으로 알려져 있다.” 라 주장하고 있다.



(a) 시범시설 후보지 위치 (b)시범시설 후보지 지질도

[그림 3-6] 시범시설 대상지 위치도



[그림 3-7] 대상건물 전경



[그림 3-8] 지중열교환기 굴착 위치

나. 시법시설 후보지 기초조사

○ 한국지하수협회 “지하수 업무수행 지침”과 국토부 “지하수개발·이용 시설공사 설계 실무요령”에 따르면 지하수조사는 지하수공을 개발·이용하기 위하여 문헌조사(① 인근지역의 시공사례, 전문가의 조언; ② 지형도, 지지도, 위성사진), 지표지질조사(①지질분포, 지질구조; ②수문현황조사), 지구물리탐사(①간이탐사; ②전기비저항탐사(수평법, 수직법))의 과정으로 구성되어 있다.

○ 본 연구개발에서는 시범시설 대상지의 여건을 고려하여 문헌조사, 지표지질조사를 시행하였다. 지구물리탐사의 경우 장거리의 지표면이 필요하나, 시범시설 대상지의 경우 탐측공간이 부족하여 시행하지 못하였다.

(1) 문헌조사

○ 지하수 산출은 당해 지역의 지질, 지형 등 지역적인 특성에 많은 영향을 받으므로 인근지역의 시공사례와 경험 등을 참고로 하여 개략적인 지하수공 개발지점을 선정한다. 지하수공 개발 예정지점 인근 지역의 지형도와 지질도를 검토하고, 가능하면 위성사진을 입수하여 선형구조를 분석하여 지표지질조사 및 탐사의 기본 자료로 활용한다.(국토부 지하수개발·이용 시설공사 설계 실무요령)

(가) 인근 시공사례

○ 본 연구개발의 시범시설 대상지인 (주)농심아산공장은 기존 5공의 지하수를 사용하고 있으며, 2011년 5월 지하수개발·이용연장 신+0고서의 지하수 이용계획은 [표 2-2]와 같다.

[표 3-1] 지하수 이용계획(시범시설 대상지 지하수개발·이용연장 신고자료; 2011. 5)

항목	착정심도 (m)	시추구경 (mm)	적정채수량 (㎥/일)	이용목적
1호공	340	200	100	생활용수(비음용)
3호공	78	200	120	공업용수(비음용)
5호공	163	200	170	공업용수(비음용)
6호공	195	200	100	공업용수(비음용)
7호공	200	200	100	생활용수(비음용)



[그림 3-9] 시범시설 대상지 지하수공 위치

○ 2001년 5월 지하수개발·이용 연장허가를 위한 지하수 영향조사서에 의하면 단계양수시험을 통해 구한 한계채수량은 1호공 120㎥/일, 3호공 130㎥/일, 5호공 180㎥/일, 6호공 120㎥/일, 7호공 130㎥/일 로 나타났으며, 1,7 호공의 경우 2~3단계 사이에서 변곡점이 발생하였다. 적정채수량은 한계채수량과 용수이용계획을 고려하여 이전허가신청량인 1호공 100㎥/일, 3호공 120㎥/일, 5호공 170㎥/일, 6호공 100㎥/일, 7호공 100㎥/일로 정하였다.

○ 채수에 의한 영향범위는 5년간 연속하여 장기채수시 각 조사공을 중심으로 1호공 남동쪽 방향으로 반경 215m, 3호공은 북쪽방향 반경 190m, 5호공 남서쪽방향 반경 210m, 6호공 서쪽방향 반경 195m, 7호공 북동쪽 방향 반경 205m의 범위로 나타났다.

[표 3-2] 2011년 5월 지하수 영향조사결과

구 분		1호공	3호공	5호공	6호공	7호공	비고
수리상수	투수량계수 (㎡/일)	0.541	1.157	1.4162	0.6818	0.663	장기,회복시험
	저류계수	0.004502	0.001527	0.001589	0.002235	0.001328	장기양수시험
	수리전도도 (m/일)	0.001738	0.017161	0.010734	0.004648	0.003962	장기,회복시험
적정채수량(㎥/일)		100	120	170	100	100	단계양수시험
포획구간반경		남동쪽 215m	북쪽 190m	남서쪽 210m	서쪽 195m	북동쪽 205m	5년포획구간

[표 3-3] 기존 지하수공의 제원

구분	굴착내용		보호벽 케이싱		수중모터펌프	
1호공	구경	심도	구경	심도	심도 동력장치 토출관	198m 7.5Hp 40㎜
	300㎜ 200㎜	28m 312m	200㎜	28m		
	총심도	340m				
3호공	구경	심도	구경	심도	심도 동력장치 토출관	49m 5Hp 50㎜
	300㎜ 200㎜	17m 61m	200㎜	17m		
	총심도	78m				
5호공	구경	심도	구경	심도	심도 동력장치 토출관	109m 10Hp 50㎜
	300㎜ 200㎜	21m 142m	200㎜	21m		
	총심도	163m				
6호공	구경	심도	구경	심도	심도 동력장치 토출관	157m 10Hp 50㎜
	300㎜ 200㎜	19m 176m	200㎜	19m		
	총심도	195m				
7호공	구경	심도	구경	심도	심도 동력장치 토출관	162m 7.5Hp 65㎜
	300㎜ 200㎜	23m 177m	200㎜	23m		
	총심도	200m				

○ 시범시설 대상지를 중심으로 0.5㎞ 및 유역면적 내의 기설관정 및 샘에 대한 현황을 조사하였다. 현장조사에 중심이 되는 음봉면 산동리, 덕지리, 탕정면 동산리에 대한 조사내용은 [표 3-4]와 같으며, 기설관정 및 잠재오염원의 위치는 [그림 3-10]에 표시하였다.

[표 3-4] 기설관정 현황표

번호	위 치	이용량 (㎥/일)	간 이 수 질			용 도	심도 (m)	구경 (㎜)	마력수 (Hp)	비고
			pH	온도	EC					
1	동산리 251	10	-	-	-	농업	35	50	0.5	-
2	동산리 250	5	-	-	-	농업	30	50	0.5	
3	동산리 236-1	15	-	-	-	농업	110	140	2.0	
4	동산리 203-9	15	6.6	15.2	261	생활	200	200	7.5	
5	동산리 158-3	2.5	-	-	-	농업	87	200	1.0	
6	덕지리 179	5	-	-	-	농업	30	50	0.5	
7	덕지리 177-1	5	7.4	15.5	218	생활	100	200	2.0	
8	덕지리 170-2	0.7	6.7	15.1	293	생활	35	50	0.5	
9	덕지리 175	0.7	7.1	15.7	332	생활	100	200	1.0	
10	덕지리 172-1	0.7	6.7	15.6	285	생활	30	50	0.5	
11	덕지리 172-2	1.5	-	-	-	농업	40	50	1.0	
12	덕지리 154	7.5	-	-	-	농업	110	200	3.0	
13	덕지리 172	9	-	-	-	농업	100	150	1.0	
14	산동리 453	0.7	7.2	16.2	231	생활	30	50	0.5	

○ 지하수 이용량 및 제원에 관한 자료는 현장조사와 국가지하수정보센터에서 제공한 아산시 지하수개발·이용자료를 참고로 하였다.

○ 현장조사에서는 조사지역내 개발된 지하수의 대부분 생활용수로 이용되고 있었으며 조사지역내 넓게 분포한 전답에서 소수의 농업용관정도 발견되었으며, 개발형태를 보면 굴착심도의 경우 10~330m, 굴착구경은 50~250㎜로 소형관정과 대형관정이 고르게 분포하였다.

[표 3-5] 간이수질 측정결과

구 분	pH	온도(℃)	EC(μS/cm)
관정	6.4~7.5	14.5~16.1	128~457
하천	6.8	15.6	119



[그림 3-10] 기설치된 관정 및 잠재오염원 위치

(2) 지표지질조사

(가) 지 형

○ 본 부지는 충청남도 아산시 탕정면 동산리 177-1번지에 소재하고 있으며 천안시 서측 약 10㎞ 인접하여 위치하고 있다.

○ 주변의 산계는 본 부지 동측에 인접하여 북 - 남 방향의 비교적 낮은 구릉형 산지가 발달하고 있으며 서측으로는 평야부가 산계의 반향과 동일하게 위치한다.

○ 수계의 발달은 저구릉형 동측 산지에서 발원한 세하천들이 동류하여 본 조사부지 서측의 농경지 사이를 가로지르는 매곡천에 유립되어 남류한다.

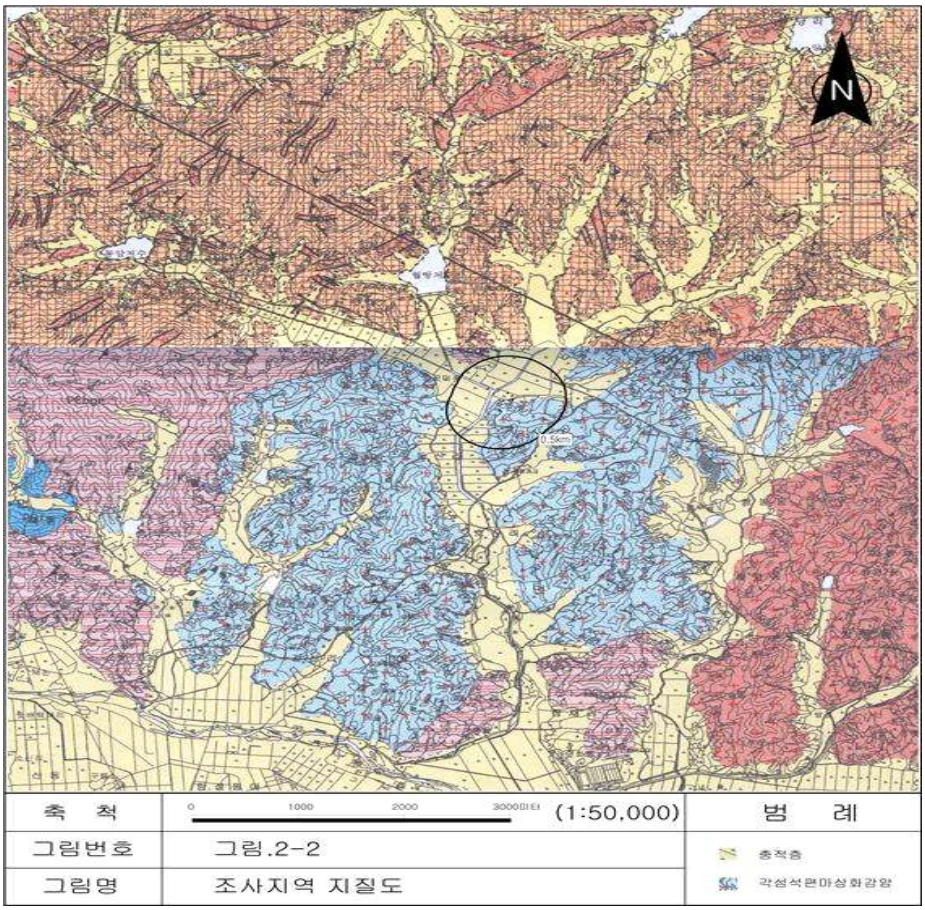
○ 본 부지 주변의 지형은 지형침식윤회 과정상 노년기 지형에 해당된다.

(나) 지 질

○ 본 부지는 중생대 쥬라기 각섬석편마상화강암이 기반암을 이루고 있다. 각섬석편마상화강암은 완정질, 중립 또는 조립의 암석이며 풍화가 상당히 진행되어 있어 주변 편마암류 및 화강암류와의 경계를 쉽게 알아볼 수 없다. 또한 편마상구조를 보이며 편마상 조직의 주향경사는 N20° ~30E, 60° ~80NW 이다. 주 구성광물은 석영, 장석, 흑운모각섬석이다.

(다) 지질구조

○ 지형도, 지질도 및 위성사진을 종합 분석한 결과 주 지질구조는 본부지 동측에 인접하여 북동-남서방향의 예상단층과 본 부지를 가로질러 예상단층이 평행하게 분포하고 있으며, 본 부지 남측에 북서서-남동동 방향의 예상단층이 분포하는 것으로 조사되었다.



[그림 3-11] 시범시설 대상지 지질도

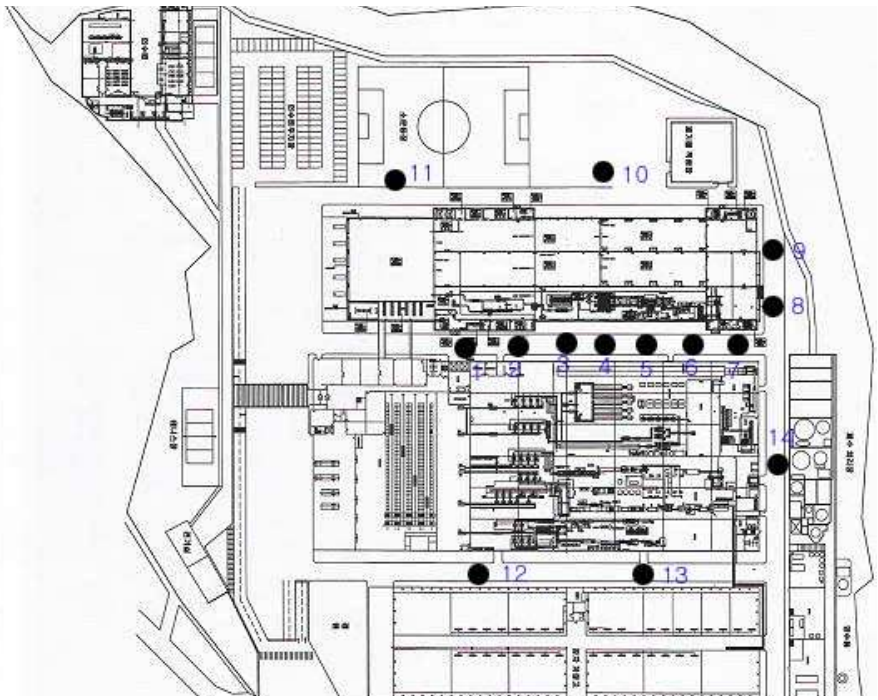
(라) 지구물리탐사

○ 본 연구개발에서 지구물리탐사는 기존 2008년 12월에 대상부지에서 시행된 전기비저항 수직탐사 및 음파탐사보고서를 이용하여 검토하였다.

○ 물리탐사위치는 두가지 물리탐사 위치는 동일하게 시행되었으며, 지하수 탐사법의 원리 및 탐사 깊이는 아래의 표와 같다.

[표 3-6] 지하수 탐사법

탐 사 법	탐사 원리	탐사 깊이	적용 분야
자연전위	자연전류의 전위차를 측정하여 지하수 부존구간 탐지	30~50m	충적층, 암반층 소형
전기비저항	인위적으로 전류를 공급하여 저비저항 분포구간을 측정함으로써 지하수 부존 구간 탐지	200m 이내	암반층 대형
탄성파탐사	화약폭파로 발생한 탄성파의 전파속도를 측정하여 지질구조(파쇄대) 탐지	200m 이내	암반층 대형
VLF	초저주파를 수신하여 지하수부존구간 탐지	30~50m	암반층 소형
MT	광대역 주파수의 자연전자장을 정하여 지질구조 탐지	깊은 심도	암반층 대형



[그림 3-12] 지구물리탐사 위치도

(마) 지구물리탐사 결과

① 전기비저항 수직탐사

○ 조사부지내에 수직탐사 14개 지점을 선정하여 전기비저항 수직탐사를 실시하였다. 탐사 후 각 측정지점에서 얻은 외견비저항치를 전기비저항 수직탐사 해석용 Computer Program인 SOUNDING에 입력하여 지하지층에 대하여 추정, 해석하였다.

○ 전기비저항 수직탐사의 결과는 본 연구개발에서 지중열교환기 대상지역과 인접한 P-10, P-11 지점의 결과 같은 아래와 같다.

측점	심도 (m)	비저항치 (Ω-m)	지층분포	비고
P-10	0.0 ~ 1.4	280	토 사 층	90m 파쇄대 발달
	1.4 ~ 7.4	189	상부풍화대	
	7.4 ~ 79.8	537	하부풍화대	
	79.8 ~ 157.6	2491	암 반 층	
	157.6 이하	6385	암 반 층	
P-11	0.0 ~ 1.4	320	토 사 층	80m 160m 파쇄대 발달
	1.4 ~ 7.7	239	상부풍화대	
	7.7 ~ 41.9	246	하부풍화대	
	41.9 ~ 176.3	4624	암 반 층	
	176.3 이하	3894	암 반 층	

② 음파탐사

○ 14개 지점에 대한 물리탐사(음파탐사)결과 1 - 9 지점에서는 전반적으로 지하수와 유관한 지질구조대 및 균열대의 발달이 대규모는 아니지만 지하심부에 지하수와 유관한 파쇄대(이상대)가 형성되는 것으로 판단되어 진다. 이러한 결과는 본부지내의 지하하부에 지질구조대 및 균열대의 분포에 기인한 것으로 판단된다.

- 10번 지점 : 지표하 49m, 58m 구간에서 지하수 부존이 가능한 지질구조대 및 파쇄대가 발달이 예상되어진다.

- 11번 지점 : 지표하 52m, 65m 구간에서 지하수 부존이 가능한 지질구조대 및 파쇄대가 발달이 예상되어진다.

다. 개방형지중열교환기 설계

○ 본 시범시설 개방형지중열교환기는 기존의 개방형지중열교환기(SCW)는 취수구간과 회수구간을 분리하여 열효율을 향상시킬 목적으로 설치된 200mm 공경의 지중열교환기(SCW) 전 구간에 125mm 관경 내부케이싱(PVC파이프)으로 인해 시공의 어려우며, 내부케이싱의 일부 구간이 훼손될 경우 열효율이 급격한 감소를 보인다. 또한 공벽에서 유실된 암석 및 암분에 의한 지하수 순환이 중단 경우 개선조치가 불가능하다.

○ 이러한 시공상의 어려움과 공벽의 유실로 발생하는 하자발생원인을 본 연구개발로 근본적으로 차단하여 개방형지중열교환기의 안정성을 확보하고, 지하수 순환경로를 최적화하여 안정된 열효율을 유지와 설치시공 및 사후 유지관리의 편리성을 확보하는 것을 목적으로 한다.

○ 본 연구개발에서는 당초 2공(400m)의 지중열교환기와 이를 관측할 관측공 2공(300m)을 구축할 계획하였으나, 시험공 굴착공사 시 480m를 굴착하였으나, 대수층 확인이 어려워 지열공과 관측공을 구분하지 않고 4공 모두 400m 굴착으로 변경하였다.

○ 각 지중열교환기의 제원은 아래 [표 3-7]과 같다.

[표 3-7] 지중열교환기 제원

<table>
<tr><th>구분</th><th colspan="2">굴착내용</th><th colspan="2">보호벽 케이싱</th><th colspan="2">수중모터펌프(계획)</th></tr>
<tr><td rowspan="4">1호공</td><td>구경</td><td>심도</td><td>구경</td><td>심도</td><td rowspan="4">심도
동력장치
토출관</td><td rowspan="4">100m
7.5Hp
50㎜</td></tr>
<tr><td>300㎜
200㎜</td><td>19m
461m</td><td rowspan="2">200㎜</td><td rowspan="2">19m</td></tr>
<tr><td>총심도</td><td>480m</td></tr>
<tr><td rowspan="4">2호공</td><td>구경</td><td>심도</td><td>구경</td><td>심도</td><td rowspan="4">심도
동력장치
토출관</td><td rowspan="4">100m
7.5Hp
50㎜</td></tr>
<tr><td>300㎜
200㎜</td><td>23m
417m</td><td rowspan="2">200㎜</td><td rowspan="2">24m</td></tr>
<tr><td>총심도</td><td>440m</td></tr>
<tr><td rowspan="4">3호공</td><td>구경</td><td>심도</td><td>구경</td><td>심도</td><td rowspan="4">심도
동력장치
토출관</td><td rowspan="4">100m
7.5Hp
50㎜</td></tr>
<tr><td>300㎜
200㎜</td><td>25m
345m</td><td rowspan="2">200㎜</td><td rowspan="2">26m</td></tr>
<tr><td>총심도</td><td>370m</td></tr>
<tr><td rowspan="4">4호공</td><td>구경</td><td>심도</td><td>구경</td><td>심도</td><td rowspan="4">심도
동력장치
토출관</td><td rowspan="4">100m
7.5Hp
50㎜</td></tr>
<tr><td>300㎜
200㎜</td><td>24m
416m</td><td rowspan="2">200㎜</td><td rowspan="2">24m</td></tr>
<tr><td>총심도</td><td>440m</td></tr>
</table>



[그림 3-13] 지중열교환기 위치도

(1) 굴착공사

○ **굴착구경**
- 표토층 : 300mm
- 암반층 : 200mm

○ **굴착심도**
- 표토층 : 연암 1m까지 굴착(토사층, 모래층, 자갈층, 호박돌층)
- 암반층 : 표토층을 포함하여 400m(풍화암, 연암, 보통암, 경암)

○ **굴착방법**
- DTH 공법

(2) 오염방지 시설

○ **외부케이싱**
- 재질 : 스테인리스스틸(STS)관(1본당 : 6m)
- 구경 : 200mm
- 설치심도 : 연암층 1m 까지 굴착심도 + 지표상부 0.3m
- 케이싱 연결 : 전기용접

○ **그라우팅**
- 시공심도 : 충적층 분포심도 + 연암 1m 구간

- 재료 : 차수용 시멘트, 물(필요시 모래, 점토, 벤토나이트 혼합)

(3) 대수층 형성

○ 에어써징법(불어내기 공법) 4시간 실시

(4) 지중열교환기 내부시설물

(가) A타입 개방형 지중열교환기

○ 취수관 내부시설물

- 양수 설비
  : 수중모터펌프 : 7.5HP
  : 양수파이프 : 스테인리스스틸(STS)관(구경 : 50mm) 17본(1본당 6m))
  : 양수파이프 연결 : 후랜지
- 내부케이싱 : 125mm(PVC파이프, 1본당 6m)
- 연결방법 : PVC연결소켓(접착식)
- 설치심도 : 지중열교환기 바닥까지 설치(400m)
- 내부케이싱 하부 6m에서 12m까지 유공관(스크린) 설치

○ 주입관 내부시설물

- PE파이프 50mm
- 설치심도 : 지열공 수위 10m지점까지 설치

(나) 개발 개방형 지중열교환기

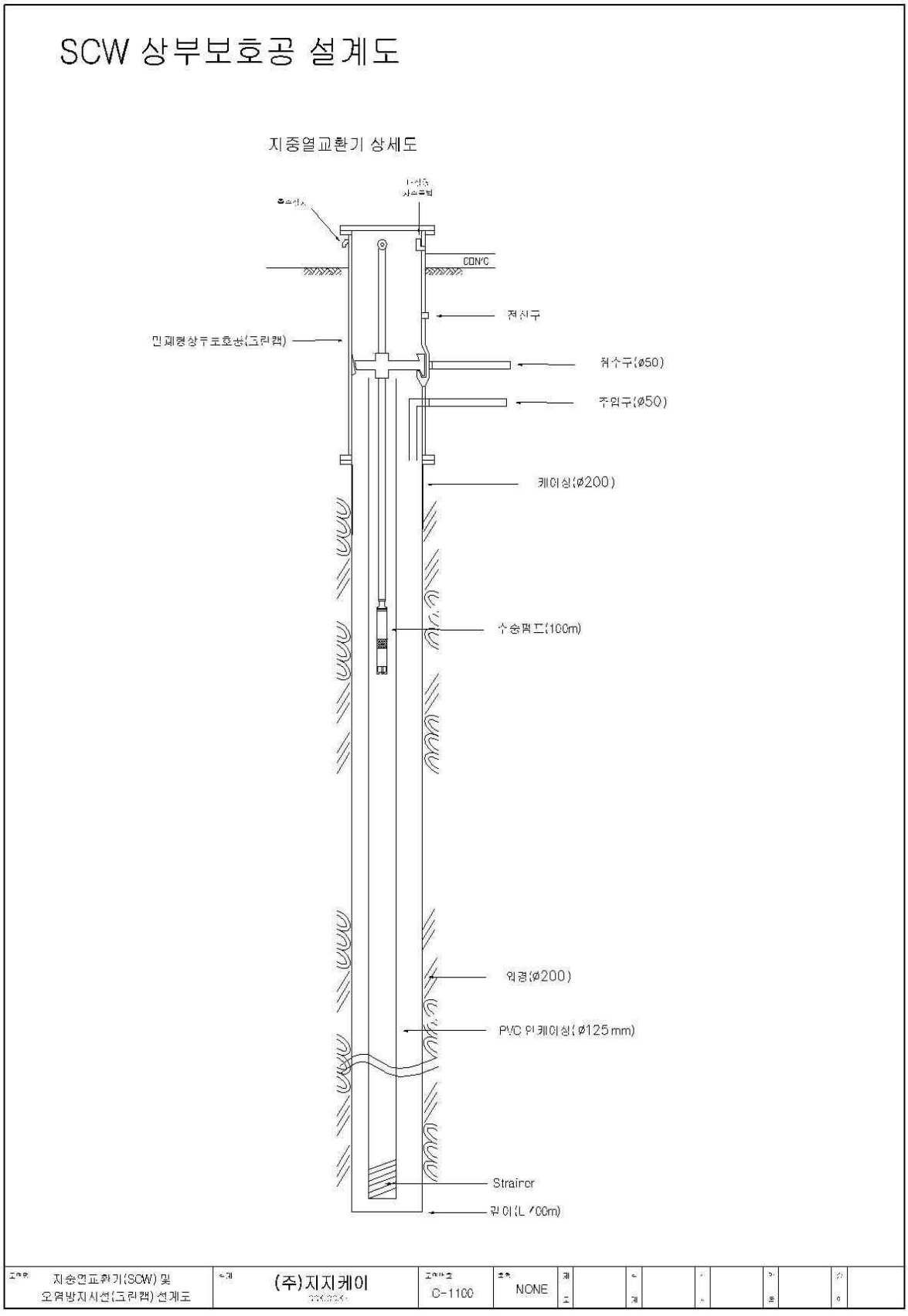
○ 취수관 내부시설물

- 양수 설비
  : 수중모터펌프 : 7.5HP
  : 양수파이프 : 스테인리스스틸(STS)관(구경 : 50mm) 17본(1본당 6m))
  : 양수파이프 연결 : 후랜지

○ 주입관 내부시설물

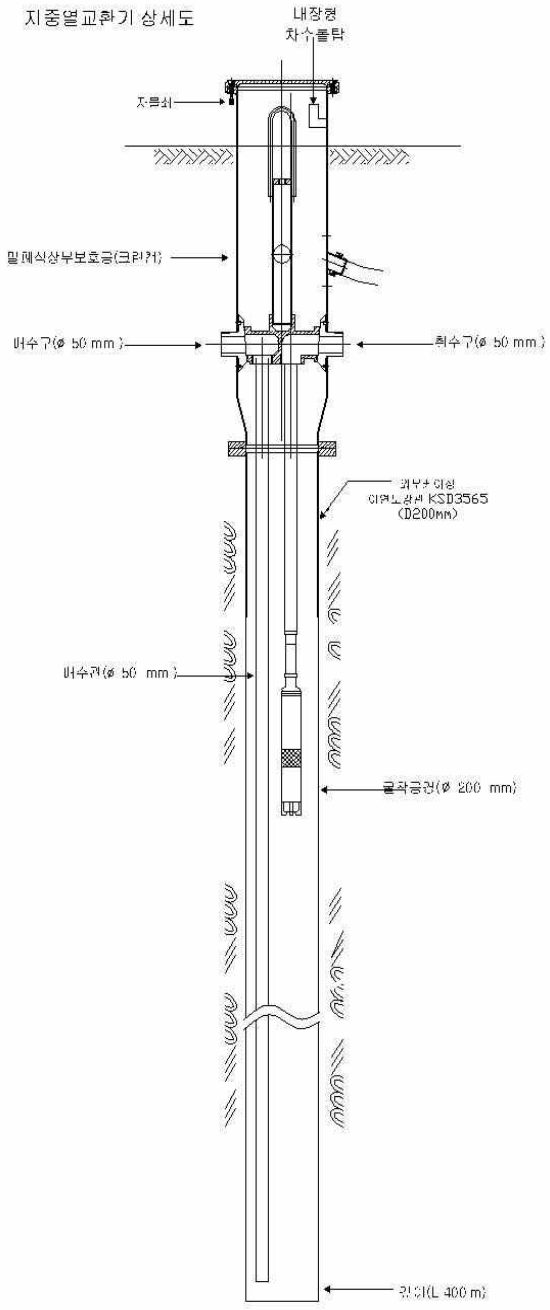
- PE파이프 50mm
- 설치심도 : 지중열교환기 바닥까지 설치(400m)
  : 1롤당 100m 또는 400m(길이조절 가능)
- 하부 0m에서 4m까지 유공관(스크린) 설치
- 설치심도 : 지열공 수위 10m지점까지 설치

■ 개방형지중열교환기 구조 설계도면(A 타입)



■ 개방형지중열교환기 구조 설계도면(B 타입)

SCW 상부보호공 설계도



지중열교환기(SCW) 및 오픈빈시스템(그라웨) 설계도	(주)지지케이	C 1100	NONE								

라. 개방형 지중열교환기의 굴착공사

(1) 굴착공사의 개요

○ 개방형 지중열교환기에 설계나 성능에 영향을 미치는 지중열 물성치는 열전도도, 열확산계수라 할 수 있다. 또한 지하수량은 지중열교환기의 성능에 지대한 영향을 주는 것으로 알려졌으나, 이에 대한 연구는 이루어지지 않고 있다.

○ 이에 최대한 많은 지하수량(150Ton/D 이상)을 확보하는 것을 목표로 시험공 굴착을 2012년 3월말 3일 일정으로 실시하였다. 당초 계획인 400m보다 80m를 추가 굴착하였다. 원인은 굴착작업 중 252m지점(예상 양수량 30~70ton/D)에서 대수층을 확인하였으나 보다 많은 지하수량을 확보하기 위해 추가 굴착하였다.

○ 본 연구개발에서는 보다 많은 지하수 양수량을 확보하는 것이 연구계획에 적합하다 판단하여 굴착전문가의 의견에 따라, 당초 계획되었던 시범 대상건물과 인접한 운동장 동쪽편에서 반대편인 운동장 서쪽편으로 변경하여, 2~4번 지중열교환기를 구축하였다. 또한 2공(400m)의 지중열교환기와 관측공 2공(300m)을 구축하려던 계획은 4공 400m 굴착으로 변경하였다.

(가) 굴착방법(Direct air-rotary 및 DTH)

○ Direct air-rotary 시추는 압축된 공기를 순환하며, DTH(Down-the hole) air hammer 시추는 드릴 비트가 회전하면서 암석을 빠르게 가격하는 압축공기 해머 비트를 사용한다.

적 용 성	한 계 점
▪ 부분 고결 및 완전 고결층에 사용 ▪ 해머 방법은 자갈을 함유한 충적층 및 경암을 관통하는데 용이 함 ▪ 굴착물을 공기 흐름에 따라 배출됨. ▪ 심도별로 굴착물이 정확히 회수됨 ▪ 물을 함유한 층 및 대수층에서 산출량을 평가할 수 있음 ▪ 암석학 및 지질학적 로깅 가능	▪ 미고결 대수층에서는 적용이 어려움 ▪ Direct air 로터리는 나공의 지름이 24inch 이하에 적용 ▪ 해머 방식이 아닌 한 물을 함유한 층의 인지가 쉽지 않음
장 점	**단 점**
▪ 케이싱 설치가 가능함 ▪ 우물 형성전에 나공상태에서 지구물리학적 로깅이 가능함 ▪ 우물 케이싱과 나공 벽사이 Annulus에 필터 팩 및 봉합이용이함 ▪ 시추가 쉽고 빠름 ▪ 우물 개발이 쉬움 ▪ 장비의 활용성이 높음	▪ 수리지질학적 측면에서 교차오염을 일으킬 수 있음 ▪ 순환되는 이수가 균열암반 또는 자갈층에서 사라지기도 하여 유지하기 어려움 ▪ 시추작업 동안 윤활제의 사용은 천부환경에 오염을 야기함 ▪ 나공 주변의 암반의 수리학적특성을 바꿀 수 있음 ▪ 큰 우물 지름으로 인한 고비용 발생



[그림3-14] Direct air-rotary 및 DTH을 이용한 굴착 전경

(나) 지중열교환기 시공

○ 개방형 지중열교환기 굴착공사의 일반적인 설계 및 시공방법 등은 국토부 “지하수개발·이용 시설공사 설계 실무요령”의 지하수 개발공사와 동일한 방법으로 이루어지고 있다.

○ 시공순서는 지중열교환기 위치선정, 작업준비(장비운반, 작업장 부지조성), 표토굴착, 오염방지시설 설치(외부케이싱, 그라우팅), 암반부 굴착(굴착공사, 대수층 확보), 대수층 형성 등의 절차로 시행된다.

① 위치선정

○ 지중열교환기 위치선정은 농심아산공장 담당자의 요청에 따라 [그림]와 같은 위치를 1차적으로 고려하였다.

○ 1차고려 대상 지역은 2008년 12월에 전기비저항 수직탐사 및 음파탐사를 실시한 문헌 보고서를 검토한 결과 제분공장과 제과공장 사이에 있는 이면도로 야적장을 대상으로 검토한 결과 작업장 부지조성에 어려움이 있어 운동장 지역으로 최종 선정하여 시험굴착을 실시하였다.



(a) 지중열교환기 1차 위치선정 대상지 (b) 대상지 전경

[그림 3-15] 개방형 지중열교환기 위치선정 및 시험공 위치선정



[그림 3-16] 개방형 지중열교환기 최종 시공위치도

② 작업준비

○ 지중열교환기 굴착공사의 일반장비는 착정기(DTH), 공기압축장비(에어컴프레서, (20HP, 2대))와 감독관1인, 보링공 1인, 인부 2인으로 작업을 진행하였다.

 	① 부지조성 - 굴착중 발생하는 스라임과 지하수를 처리할 수 있도록 배수로 확보 - 침전조 설치 ② 장비 설치 - 착정기 안착 - 공기압축장치 안착 - 케이싱 및 로드 배치

③ 굴착 공사

○ 굴착공사는 표토부(미고결층) 굴착, 수질오염방지를 위한 외부케이싱(지표하부보호벽) 설치 및 그라우팅 암반부 굴착 등의 순서로 진행하였다.

• 표토부 굴착

○ 표토부 굴착은 토사, 충적층, 풍화암등을 굴착하는 것으로 연암 1m까지 굴착하는 것을 말한다.

○ 표토부 굴착공사는 암반부의 굴착구경보다 100mm(4인치)이상 크게 굴착하여 300mm로 굴착하였다.

○ 표토부 굴착공사는 표토부 굴착 외부케이싱 설치로 이루어 졌으며, 세부적으로 표토층(토사, 충적층, 풍화암) 300m로 굴착, 보호케이싱(300mm)설치, 연암 1m 까지 굴착 및 슬라임 제거, 외부케이싱(200mm) 설치 등의 순서로 실시하였다.

○ 각 공별 표토부 굴착내용은 아래의 표와 같다.

구분	1호공	2호공	3호공	4호공
심도	18m	22m	24m	23m



① 최종 굴착위치 선정



② 표토부 굴착



③ 보호케이싱 설치(300㎜ 케이싱)



④ 연암 1m까지 굴착후 외부케이싱 설치(200㎜)

[그림 3-17] 시험공(1호공) 표토부 굴착작업

• 암반부 굴착

○ 암반부 굴착은 연암, 경암등을 굴착하는 것으로 설계 심도까지 굴착하는 것을 말한다.

○ 암반부 굴착공사는 설계에 따라 구경 200mm, 심도 400m 4공을 시공하였다.

○ 각 공별 표토부 굴착내용은 아래의 표와 같다.

구분	1호공	2호공	3호공	4호공
총 굴착 심도	480m	440m	370m	440m

○ 1호공의 굴착공사는 개방형 지중열교환기 구축에 있어 시험공사 목적으로 실시되었다. 당초 계획은 관경 200mm, 심도 400m의 지중열교환기 본공 2개공으로 계

획 및 설계되었으나, 대수층 발달이 미비하고 계획수량이 부족하여 480m 까지 굴착하였다. 그러나 약 252m 지점에서 대수층 일당 80ton/D의 적은 양수량의 대수층을 발견하고, 이후 480m까지 추가 대수층을 발견하지 못하였다.

○ 이에 지열교환기 구축 위치를 변경하게 되었으며, 가능한 깊이 굴착하는 것으로 계획을 변경하였다.

○ 지중열교환기 3호공은 굴착도중 비트 파손으로 굴착공사를 중지하였다.

○ 이러한 결과로 지중열교환기 내부시설물 설치공사는 2, 4호공으로 결정하였다.



① 1호공(시험천공) 굴착 작업 전경



② 1호공(시험천공) 252m 지점 대수층 확인



③ 1호공(시험천공) 굴착심도 확인



④ 1호공(시험천공) 굴착공사 완료

[그림 3-18] 시험공(1호공) 암반부 굴착작업

④ 지중열교환기 공내 촬영

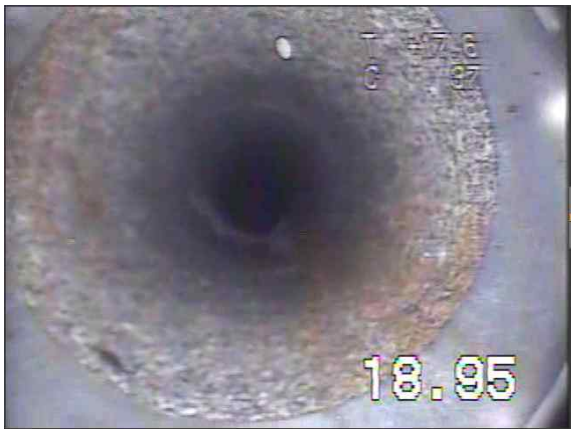
○ 지중열교환기 공내촬영검사는 굴착 공사 완료 후 공내 상태확인 즉 굴착 심도와 공내 슬라임 퇴적상태 확인, 공내 대수성부위 관찰, 케이싱 하단부와 기반암과의 접촉상태 확인, 안반위 종류 확인 등을 유관으로 확인하고자 실시하였다.

- 1호정

구분	굴착내용		보호벽 케이싱	
	구경	심도	구경	심도
1호공	300㎜ 200㎜	19m 461m	200㎜	19m
	총심도	480m		



1호정 주변 정경



케이싱 위치(19m 지점)



수위



대수층(크랙 : 252m지점)



총 심도

- 2호정

구분	굴착내용		보호벽 케이싱	
	구경	심도	구경	심도
2호공	300㎜ 200㎜	23m 417m	200㎜	24m
	총심도	440m		



2호정 주변 정경



케이싱 위치(24m 지점)



수위(35m 지점)



대수층(크랙 : 225m지점)



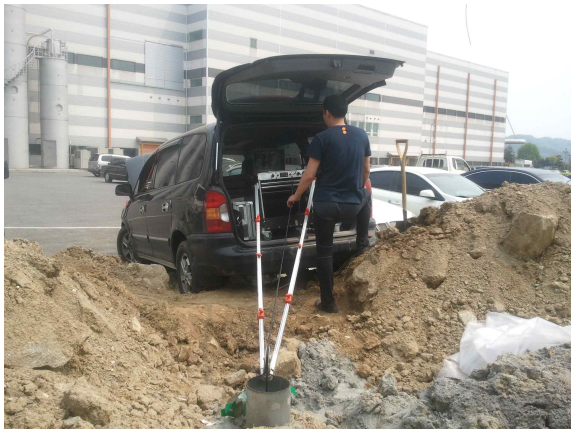
대수층(크랙 : 387m지점)



총 심도

- 3호공

구분	굴착내용		보호벽 케이싱	
	구경	심도	구경	심도
3호공	300㎜ 200㎜	25m 345m	200㎜	26m
	총심도	370m		



3호정 주변 정경



케이싱 위치(24m 지점)



수위(67m 지점)



대수층(크랙 : 257m지점)



대수층(크랙 : 342m지점)



총 심도

- 4호공

구분	굴착내용		보호벽 케이싱	
	구경	심도	구경	심도
4호공	300㎜ 200㎜	24m 345m	200㎜	25m
	총심도	370m		



4호정 주변 정경



케이싱 위치(24m 지점)



수위(66m 지점)



대수층(크랙 : 140m지점)



대수층(크랙 : 254m지점)



총 심도

마. 지중열전도도 시험

○ 지중열전도도 시험은 지하지질의 유효 열전도도가 주요 설계인자로 작용하여 지열에너지 보급사업에서 의무적으로 시행하고 있다. 일반적으로 시험공 굴착완료 시점에서 내부시설물을 설치하고 시행하도록 되어 있으나 본 연구개발에서는 지중열교환기 개발 숫자가 확정되어 있어, 추후 온도 및 열용량 모니터링과 모델링의 비교 데이터로 사용하며, 지열시방서 작성시 설계인자로서 적용할 예정이다.

○ 지중열전도도 시험은 2012년 7월 3일부터 4일까지 실시하였으며, 열전도도 측정기관은 한국지하수지열시험센터에서 측정하였다.

○ 일반사항

지식경제부 고시 제2011-3호 “신재생에너지설비의 지원 등에 관한 기준” 제20조 제2항 및 “신재생에너지 설비의 지원 등에 관한지침” 제10조제2항[별표3] 지열설비의 이용검토서 작성 및 검토기준에 따라 시험함.

○ 시험방법

KS B 8291-1 : 2009(지열 열펌프 시스템-지중 열전도도 시험방법)

- 열전도도(라인소스방법 : Line source Theory)

$$\lambda_{eff} = Q/(4 \times \pi \times \times \kappa)$$

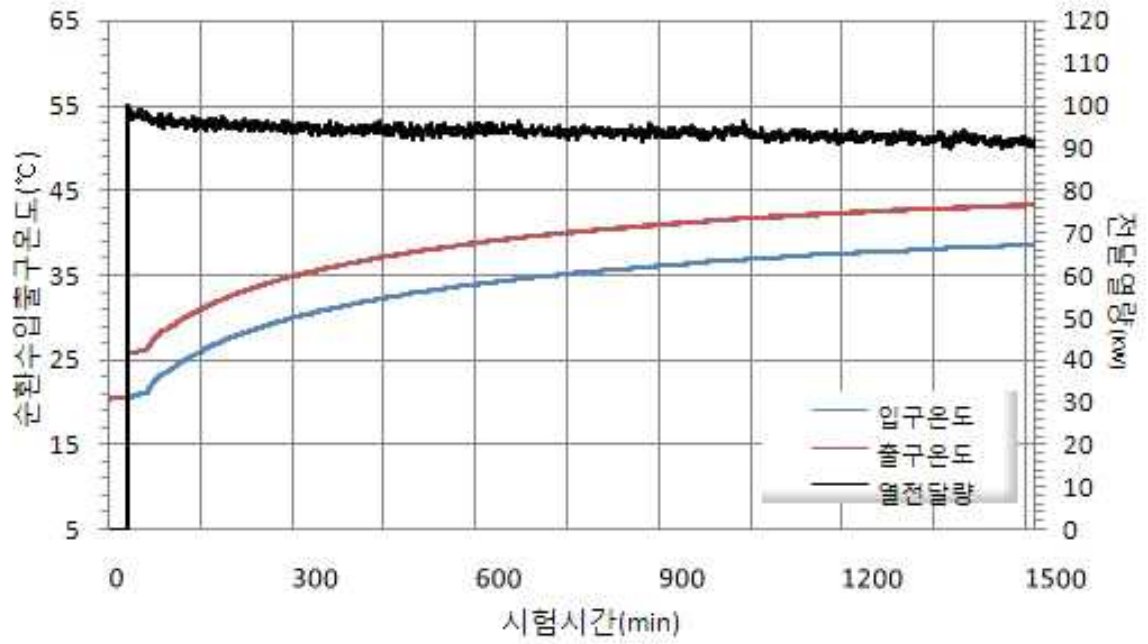
※ λeff는 그라우트/토양의 혼합층의 유효 열전도도, Q는 순환수 전달열량, L은 지중열 교환기의 깊이, κ는 로그 시간에 대한 온도의 평균 기울기

○ 시험 결과

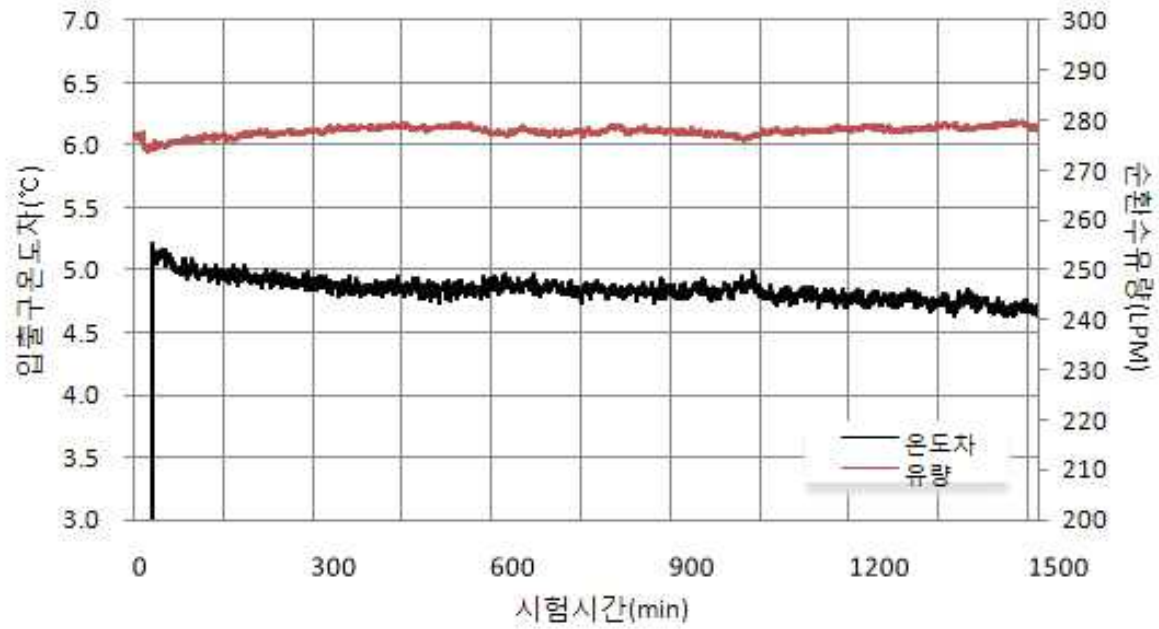
시 험 항 목	기 본 값	단 위
지중 초기온도	20.57	℃
입출구 평균온도차	4.83	℃
평균전압	-	V
평균전류	-	A
평균 투입열량(Q)	93704.206	W
순환수 전달열량(졌)	93570.830	W
에너지 평형(표준편차)	1.359	%
기 울 기(κ)	5.435	-
유효 열전도도(λeff)	3.748	W/(m.K)

○ 2호정을 대상으로 지중열전전도 시험을 실시한 결과 생산열량은 평균 93.6kW (26.7RT)이며, 열교환온도차는 4.83℃로 측정되었다. 이 결과는 기계설비 중 열교환기 선정시 평균열교환 온도차를 4.5℃이하로 설계하고, 용량은 90kW이하로 설계하는 것이 타당하다 판단된다.

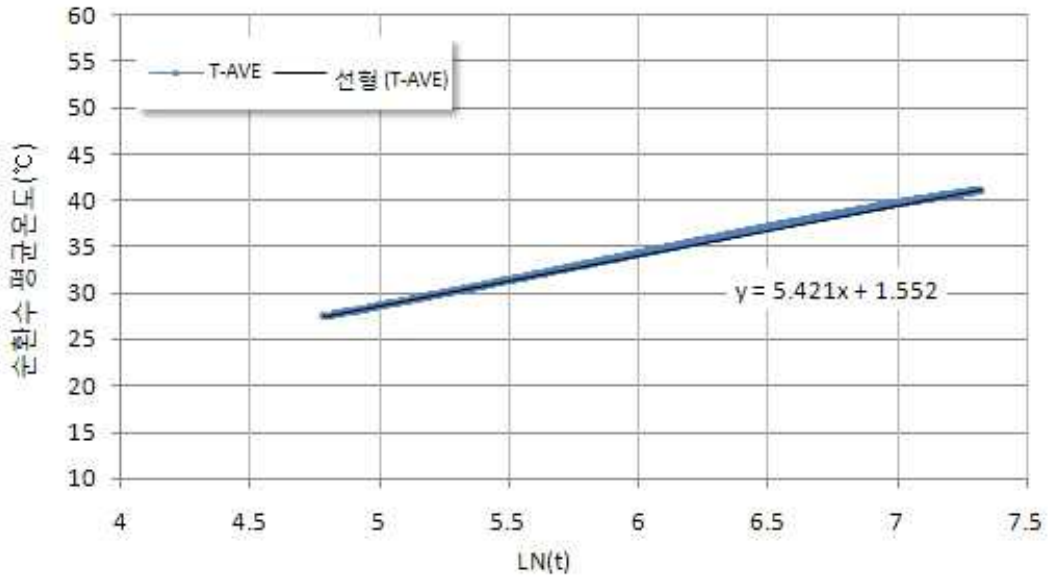
○ **초기지중온도, 지중열교환기 순환수온도 및 순환수 전달 열량**



○ **순환수 순환유량 및 입·출구 온도차**



○ 온도-시간대수에 의한 기울기



○ 현장사진



측정공 전경



설치전 측정공 전경



배관보온



시험측정 전경

바. 개방형 지중열교환기 내부시설물 공사

○ 개방형 지중열교환기 내부시설물 설치 방법은 본 연구에서 중심으로 크게 기존 지중열교환기(A타입) 방법과 개발대상인 지중열교환기(B타입) 방법으로 구분된다.

○ 본 기술개발에서는 기존 및 개발된 개방형 지중열교환기의 안전성·기능성 및 효율성을 비교하기 위해 구축되었으며, 현장여건을 고려하여 도일한 조건에서 비교하고자 한다.

(1) 기존 지중열교환기(A타입)의 구조적인 문제점 및 해결방법

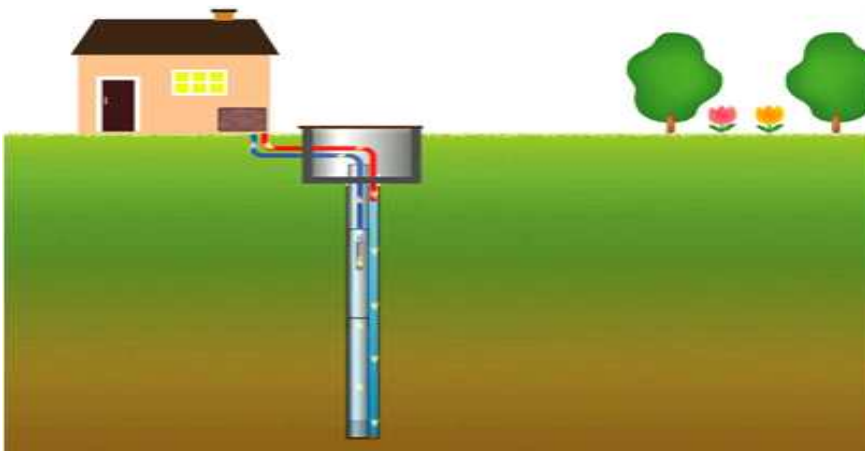
(가) 기존 지중열교환기(A타입)의 문제점

○ A타입 지중열교환기 방식은 지열공 내부에 PVC파이프를 설치하여 취수공간과 주입공간을 분리함으로서 지열공 하부에 열복원된 열원수를 안전하게 유지하여 사용하는 것이 기본원리이다. 그러나 취수부와 주입부를 분리하기 위해 설치된 내부케이싱(PVC 파이프)으로 인해 여러 가지 문제가 발생되고 있다.

○ 400m 이상 지중열교환기 전구간에 설치된 PVC파이프의 어느 구간에서 조금만 훼손되더라도 지하수 순환체계가 깨져 열효율이 감소하는 위험성을 내포하고 있다.

○ 지중열교환기 공벽에서 유실된 암석 및 암분에 의해서 PVC파이프 하단부에 스트레이너가 막히는 경우 지하수순환이 중단되는 위험성을 내포하고 있다.

○ 현재 알려진 지하수 및 지중열교환기 기술 중에는 위와 같은 문제가 발생시 개선조치가 불가능하며 가능하더라도 많은 시간과 비용이 필요하다(개선기간 : 1~3개월, 비용 : 1억원 이상).



[그림 3-19] 기존 개방형 지중열교환기(A타입) 시스템(SCW)

(나) 기존 지중열교환기(A타입)의 해결방법

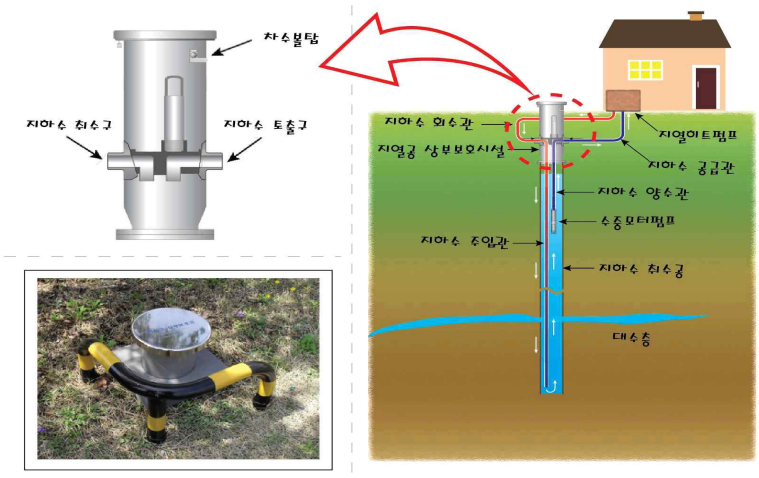
○ 본 연구기술은 지하수 자원을 냉난방의 에너지원으로 이용하는 지열냉난방시스템의 주요구성요소인 지중열교환기(지열공)의 설치시공 기술로, 관련설비의 안전성 및 기능성 확보로 유지•관리 효율성을 증대시킴으로써 지하수자원을 이용하는 개방형 지열냉난방시스템의 경제성 및 신뢰성을 도모하는데 목적을 두고 있다.

○ '개방형지중열교환기 상부밀폐 및 유체순환장치'는 케이싱연결플랜지를 사용하여 상기 지하수취수공 지표하부케이싱의 사단부에 결합하게 되며, 연결부의 내경은 지표하부케이싱의 내경과 동일한 직경을 갖지만 상측으로 올라갈수록 그 내경이 점차 증가하면서 충분한 작업공간을 확보하게 되므로 시설물결속뭉치 등 내부 시설물의 설치 및 분리작업의 편리성을 확보하였다.

○ 시설물결속뭉치의 하부에 지하수양수관 및 수중모터펌프와 지하수주입관이 체결되어 있고, 시설물결속뭉치는 별도의 결속부재 없이 무게 자중에 의해서 상기 상부원형관의 내주면에 밀착되어 결속되면서 수밀성 확보

○ 시설물결속뭉치를 상부원형관의 내주면에 밀착시키면 시설물결속뭉치의 지하수토출로 및 지하수회수로가 상부원형관의 지하수토출구 및 지하수회수구에 자동으로 연결·연락되면서 별도의 작업 없이 지하수취수공-수중모터펌프-지하수양수관-지하수토출로-지하수토출구-지하수공급관-기계실열교환기-지하수회수관-지하수회수구-지하수회수로-지하수주입관-지하수취수공으로 이어지는 지하수순환경로를 최적화하였다.

○ 사후, 개방형지중열교환기의 점검 또는 정비가 필요한 경우에 상기 시설물결속뭉치를 당겨 올리면 상부원형관의 내주면에서 분리되면서 지하수양수관 및 수중모터펌프와 지하수주입관을 간편하게 인양할 수 있게 함으로써 사후 유지관리 효율성 확보하였다.



[그림 3-20] 개발 개방형 지중열교환기(B타입) 시스템

(2) 지중열교환기의 설계사항 및 내부시설물 시공

○ 시공된 2번, 4번 지중열교환기의 공내 촬영결과에 따르면 두 지중공의 경우 지층구조가 상이한 것을 알 수 있다. 2번의 경우 주대수층이 226m와 387m에서 형성되었고, 4번의 경우 140m와 254m에서 형성된 것을 알 수 있다.

○ 적용될 2방법의 특징을 고려하여 개발기술은 2번 지열공에, 기존기술은 4번 지열공에 적용하였다.

(가) A타입 지중열교환기 방법의 내부시설물 설치위치 선정

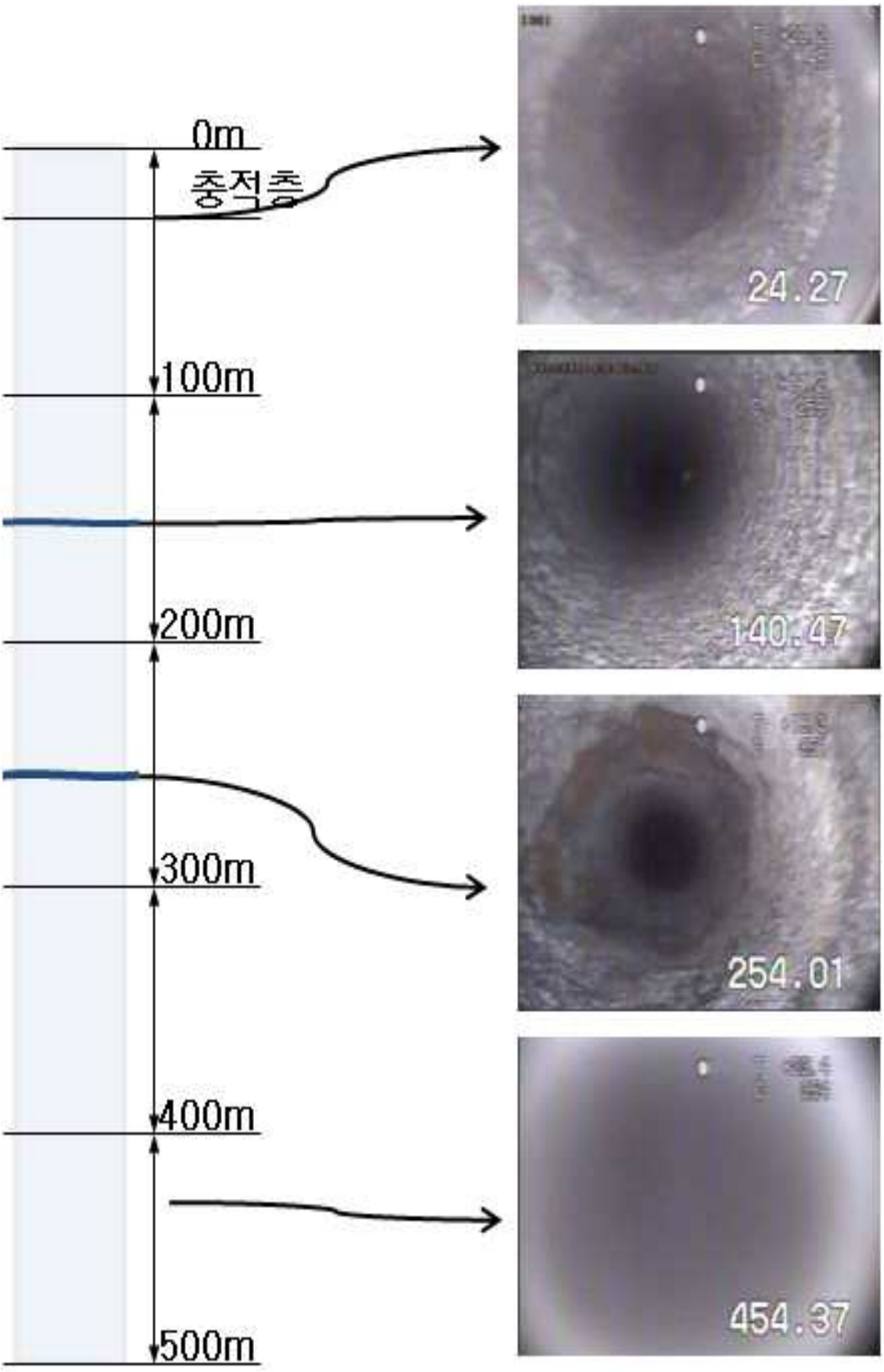
○ 본 지열교환기의 내부시설물 설치위치 선정은 지중열교환기 구조에 따라 대수층이 상부에 위치하는 것이 유리한 구조로 지중열교환기 4호공에 설치하였다.

○ 지중열교환기 4호공의 대수층 위치는 140m와 254m이며 자연수위 45m 총 심도 440m이다.



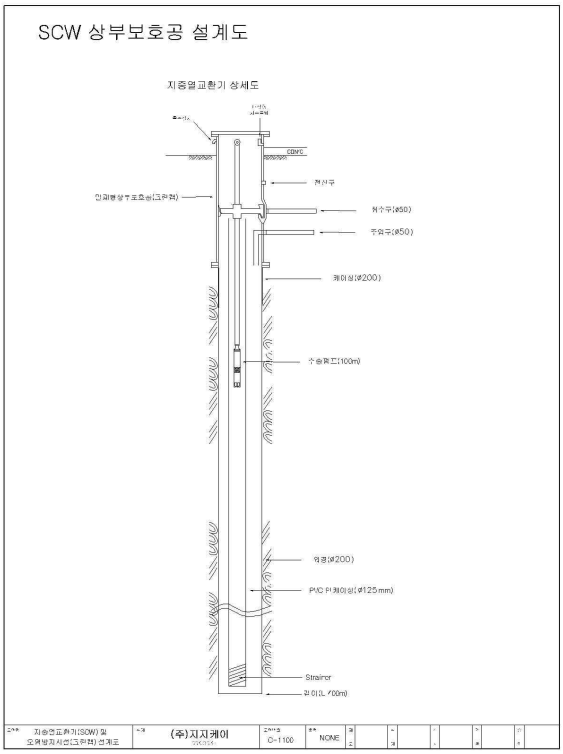
[그림 3-21] 지중열교환기 4호공 위치도

○ 지중열교환기 4호공 공내촬영



○ 4번 지열공 위치는 [그림]와 같으며, 그 기본 구조는 200mm 공경의 지열공 전 구간에 125mm 관경 PVC파이프를 설치하면서 하단부에는 지하수가 유입될 수 있도록 스트레이너를 제작하고, 상기 PVC파이프 안으로 약 100m 깊이에 수중펌프를 설치하는 한편, 회수되는 지하수의 주입관은 상기 PVC 파이프의 외벽과 지하수관정 굴착공벽의 사이공간에 약 20m 깊이까지 설치해서 취수구간과 회수구간을 분리하는 구조이다.

○ A타입 지중열교환기 설계도 및 일반 설계 사항은 아래와 같다.



■ 취수관 사양
- 양수설비
  · 수중모터펌프 : 7.5HP
  · 양수파이프 재질 : 스테인리스스틸(STS)관
  · 양수파이프 구경 : 50㎜
  · 양수파이프 설치 길이 : 100m
- 내부케이싱
  · 구경 :125㎜
  · 재질 : PVC파이프
  · 설치 길이 : 지중열교환기 바닥까지 (400m)
  · 하부 스크린 설치 6~12m

■ 주입관 사양
- 재질 : PE파이프
- 구경 : 50㎜
- 설치심도 : 지열공 수위 10m지점까지 설치

(나) A타입 지중열교환기 방법의 내부시설물 설치

○ 지중열교환기 내부시설물 설치공사는 자재 준비, 지중열교환기 내부케이싱 및 관측관(25mm) 설치, 양수시설물(수중모터펌프 및 양수파이프 설치) 등의 순서로 진행하였다.

① 내부케이싱 설치

○ 내부케이싱 설치공사의 하부에 12m의 스크린을 설치하고, 구경 125m, 길이 6m의 PVC파이프 64본을 결합하여 내부케이싱 400m를 설치하였다.

○ 또한 지중열교환기 온도모니터링을 위해 25mm 엑셀 파이프를 내부케이싱과 같이 설치하였다.



① PVC 파이프 준비



② 내부케이싱 최하단에 엑셀파이프 연결



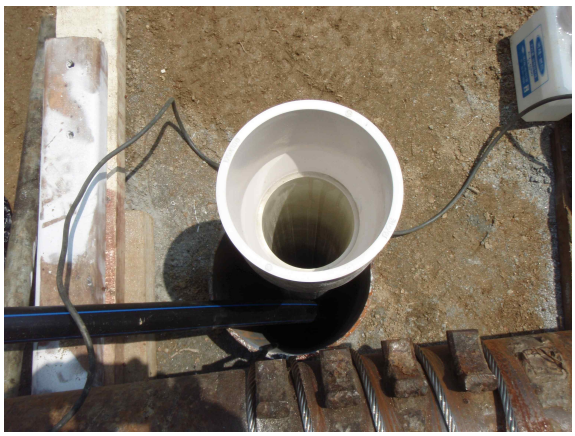
③ 내부케이싱 하단부에 스크린 설치



④ PVC 파이프 연결



⑤ 모니터링을 위한 엑셀파이프 연결



⑥ 내부케이싱 설치공사 완료

[그림 3-22] A타입 지중열교환기 내부보호관(PVC 파이프) 설치 공사

② 양수시설물 설치

○ 양수시설물 설치공사는 7.5HP 수주모터펌프 및 스테인리스스틸 재질의 직경 50mm 양수파이프 100m를 설치하였다.



① 수중모터펌프



② 양수파이프



③ 수중전선



④ 수중모터펌프 설치



⑤ 양수파이프 연결 완료



⑥ 지중열교환기 내부시설물 설치 완료

[그림 3-23] A타입 지중열교환기 양수시설물 설치 공사

(가) B타입 지중열교환기 방법의 내부시설물 시공

① B타입 지중열교환기 방법의 내부시설물 설치위치 선정

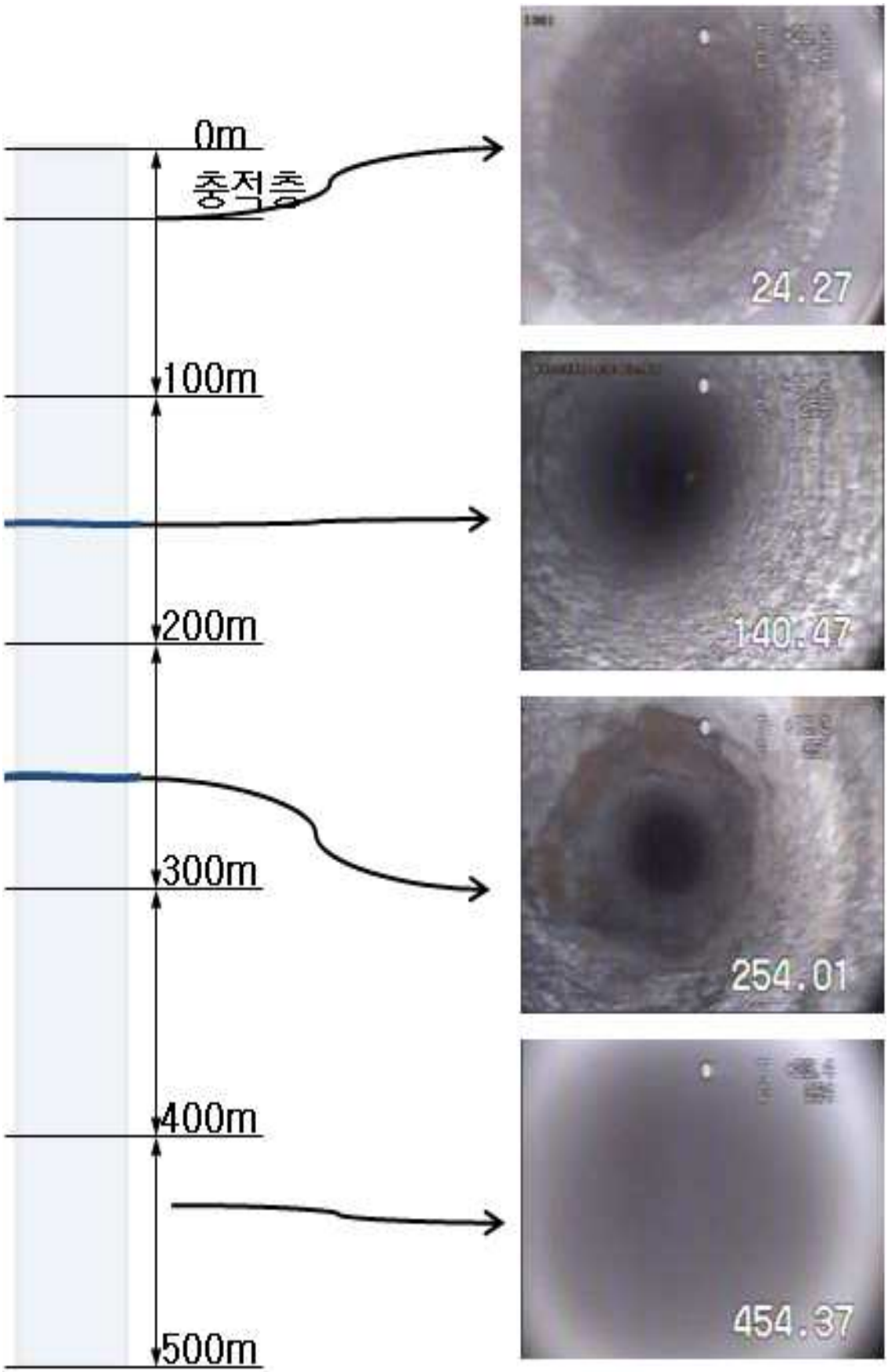
○ 본 지열교환기의 내부시설물 설치위치 선정은 지중열교환기 구조에 따라 대수층이 상부에 위치하는 것이 유리한 구조로 지중열교환기 2호공에 설치하였다.

○ 지중열교환기 2호공의 대수층 위치는 226m와 384m이며 자연수위 35m 총 심도 440m이다.

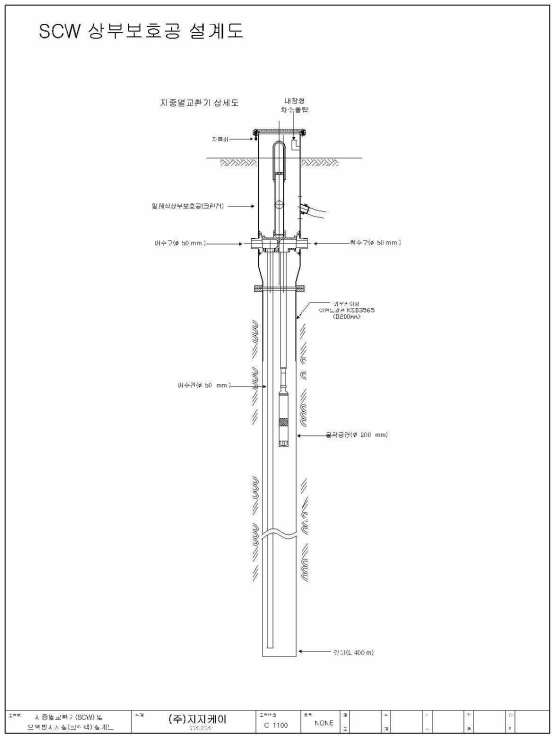


[그림 3-24] 지중열교환기 2호공 위치도

○ 2번 지열공 위치는 [그림 3-17]와 같으며, 그 기본 구조는 내부시설물이 없는 200mm 공경의 지열공에 수중모터펌프를 약 100m 깊이에 설치하고, 관경 50mm 이내의 지하수주입관(PE파이프)을 지열공의 하단부 깊이까지 설치해서 지하수의 수구간과 회수구간을 분리하는 구조이다.


0m
충적층
100m
200m
300m
400m
500m
24.27
140.47
254.01
454.37

○ 지중열교환기 설계도 및 일반 설계 사항은 아래와 같다.



■ 취수관 사양
- 양수설비
  · 수중모터펌프 : 7.5HP
  · 양수파이프 재질 : 스테인리스스틸(STS)관
  · 양수파이프 구경 : 50mm
  · 양수파이프 설치 길이 : 100m

■ 주입관 사양
- 재질 : PE파이프
- 구경 : 50mm
- 설치심도 : 지중열교환기 바닥까지 설치
  (400m, 1롤당 60m 길이조절 가능)
- 하부 0m에서 4m까지 유공관(스크린) 설치

② B타입 지중열교환기 방법의 내부시설물 설치

○ 지중열교환기 내부시설물 설치공사는 자재 준비, 지중열교환기 주입관 설치, 양수시설물(수중모터펌프 및 양수파이프 설치) 등의 순서로 진행하였다.

• 주입관 설치

○ 주입관 설치공사의 하부에 주입관용 스크린을 설치하고, 구경 50m, 길이 100m의 PE파이프 4본을 결합하여 400m를 설치하였다.

○ 또한 지중열교환기 온도모니터링을 위해 25mm 엑셀 파이프를 내부케이싱과 같이 설치하였다.



① PE 파이프



② 주입관 설치 준비



③ 주입관 하부 연결



④ 지중열교환기 주입관 삽입

[그림 3-25] B타입 지중열교환기 주입관(PE 파이프) 설치 공사

- 양수 시설물 설치

  ○ 양수시설물 설치공사는 7.5HP 수주모터펌프 및 스테인리스스틸 재질의 직경 50mm 양수파이프 100m를 설치하였다.



① 수중모터펌프



② 양수파이프



③ 수중전선



④ 수중모터펌프 설치



⑤ 지중열교환기 내부시설물 설치 완료

[그림 3-26] B타입 지중열교환기 양수시설물 설치 공사

사. 지중열교환기 상부보호시설의 현장적용

(1) 지중열교환기 상부보호시설의 설치

○ 지열용 상부보호시설의 시공순서는 터파기, 외부케이싱 절단, 연결후렌지 용접, 지열용 상부보호시설 체결, 지하수 취수 및 토출구 송배수관 연결, 터파기 되메움, 상부덮개 설치 등의 순서로 진행하였다.



① 터파기



② 외부케이싱 절단 후 연결후렌지 용접



③ 연결후렌지 용접 완료



④ 상부보호시설 체결 및 송배수관 연결



⑤ 터파기 되메움



⑥ 상부덮개 설치

[그림 3-27] 지중열교환기 상부보호시설의 설치 공사

4. 개방형 지중열교환기의 현장적용 결과

가. 개방형지중열교환기의 지하수 순환체계의 최적화 및 안전성확보 기술

○ 결속게이트 양수관체결구에 결속된 양수관 및 수중모터펌프등의 시설물을 지열공 상단에 위치하게하고, 결속게이트 주입관체결구에 결속된 지하수 주입관을 지열공 하단에 위치하게하여 별도의 내부케이싱 없이 주입구간과 회수구간을 분리함으로써 지하수 순환경로 최적화

○ 시설물 결속게이트 하부에 지하수 양수관 및 수중모터펌프와 지하수 주입관을 체결하여 별도의 결속부재없이 내부시설물 자중에 의해 결속되어 수밀성을 확보함여로서 지중열교환기의 내부시설물의 설치·시공이 간편하며, 모든 내부시설물 일체화로 유지관리, 정비 및 개선작업이 용이한 개방형지중열교환기를 구축하였다.

나. 기능성을 확보한 개방형지중열교환기 밀폐형 상부보호관 기술

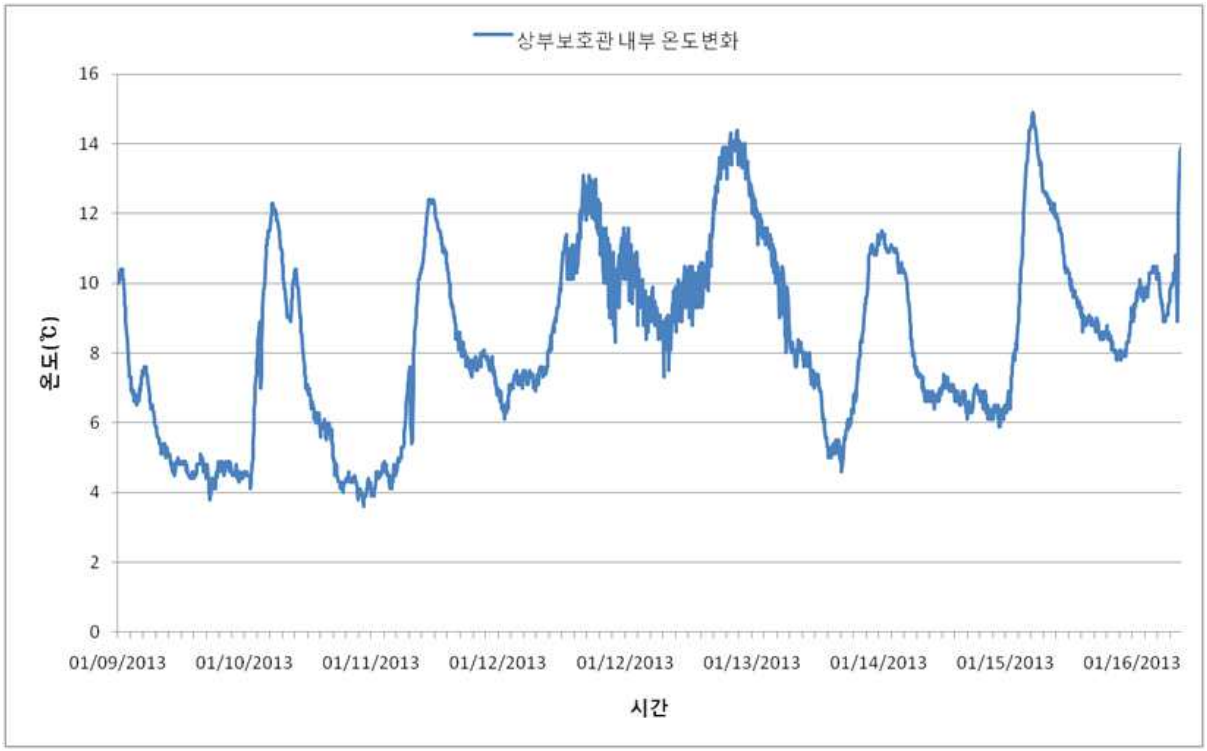
○ 그림 3-3과 같이 개방형지중열교환기 밀폐형 상부보호관 기술은 완전 밀폐된 구조로 지중열교환기 내부시설물(수중모터펌프, 취수관, 주입관등, 수중전선)을 보호 및 오염물 유입을 방지하였다.

	○ 물속에서 72시간 경과 후에도 누수현상 없음. - 지열공 침수시에 외부오염물질 유입방지 ○ 지중열교환기 내부 압력상승 시 압력 배출을 위한 차수 볼탑 적용 ○ 지중열교환기 내부시설물 외부 노출 차단으로 안전성확보

○ 지중열교환기 상부보관의 취수 및 주입관의 위치가 동결선 아래 설치되어 동파방지

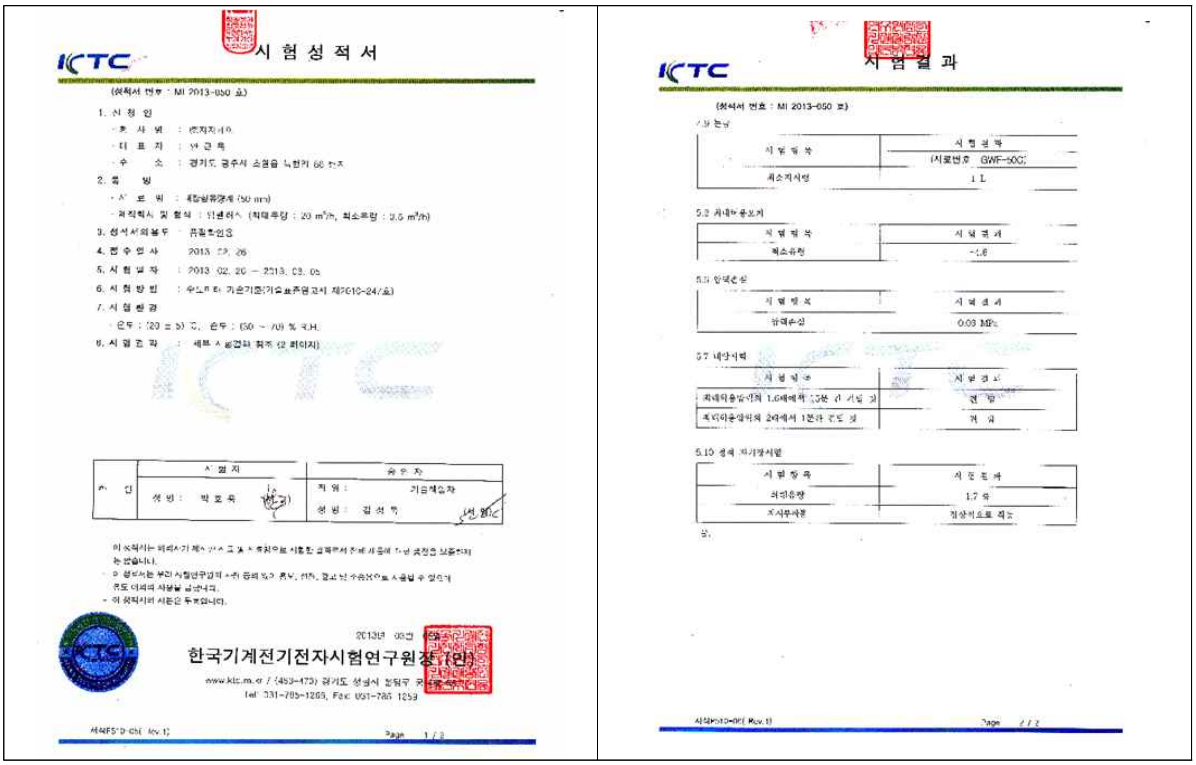
○ 아래의 그래프는 상부보호관 상부에서 측정된 온도자료로 외기 온도가 -10℃이상 떨어진 상태에서 상부보호관 내부 온도변화를 나타낸 것이다.

○ 이 결과는 국내 어떤 지역에 설치하여도 동파에 안전한 것을 보여준다.

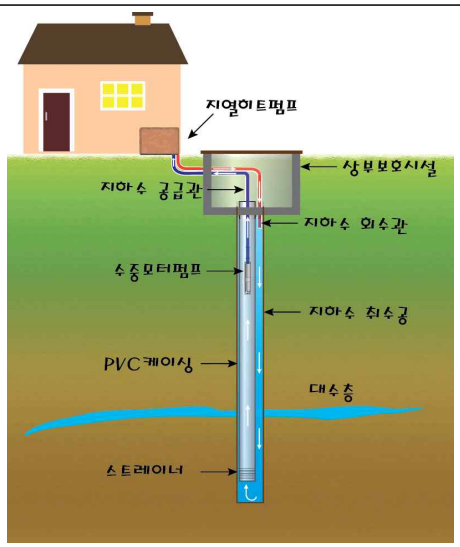


○ 개방형지중열교환기는 지하수법에 규정된 법정시설물을 구비할 의무가 있다. 이를 위해 상부보관 내부에 설치할 수 있는 유량계를 개발하였다. 현재 조달청 나라장터 등록을 위해 한국기계전기전자시험연구원에서 수도미터 기술기준(기술표준원고시 제 2010-247호)으로 성능검사를 수행하였다.

○ 한국기계전기전자시험연구원(KTC)의 내장형 유량계 성능인증 결과
- 시험일자 : 2013. 2 26 ~ 2013. 3. 5
- 시험방법 : 수도미터 기술기준(기술표준원고시 제2010-247호)
- 시험환경 : 온도 : 20±5℃, 습도 : 30~70%
- 눈금, 최대허용오차, 압력손실, 내압실험, 정적자기장시험 등을 시험한 결과는 아래 그림과 같다.



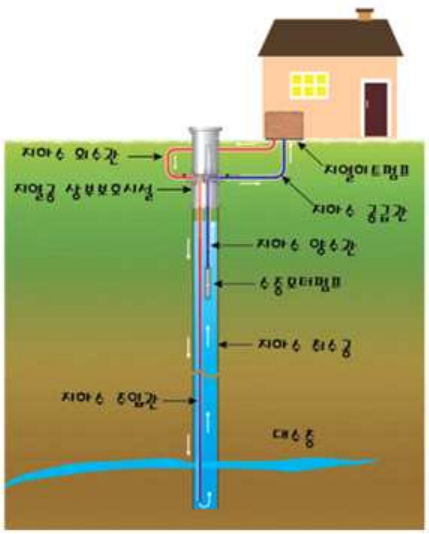
○ 기존 개방형지중열교환기(A타입)과 개발 개방형지중열교환기(B타입) 구조비교



(A타입)

◆ **지열공에 PVC파이프 를 설치해서 공간과 주입공간을 분리**

- 200㎜ 공경의 지열공 전 구간에 125㎜ 관경 PVC파이프를 설치하면서 하단부에는 지하수가 유입될 수 있도록 스트레이너를 설치
- PVC파이프 안으로수중펌프를 설치
- 회수되는 지하수의 주입관은 상기 PVC 파이프의 외벽과 지하수관정 굴착공벽의 사이공간에 약 20m 깊이까지 설치해서 취수구간과 회수구간을 분리함



(B타입)

◆ **암반나공 상태의 지열공 구축**

- 내부시설물이 없는 200㎜ 공경의 지열공 내부에 수중모타펌프를 설치하고 관경 50㎜ 이내의 지하수주입관을 지열공의 하단부 깊이까지 설치해서 지하수의 수구간과 회수구간을 분리함.

◆ 지하수 순환체계의 장애발생과 지열공의 기능 상실	◆ 지하수 순환체계의 최적화와 지열공의 안전성 확보
수백미터에 이르는 지열공 전구간에 설치한 PVC파이프가 어느 구간에서 조금만 훼손되더라도 지하수 순환체계가 깨져 열효율이 감소하고, 공벽에서 유실된 암석 및 암분에 의해서 PVC파이프 하단부에 스트레이너가 막히는 경우 지하수순환이 중단되며 → 개선조치가 불가능	암반나공 상태의 지열공에서 지하수순환경로를 최적화하여 안정된 열효율을 유지하는 한편, 공벽에서 유실된 암석 및 암분에 의해서 지하수 순환이 중단되는 하자발생 원인을 근본적으로 차단하여 지열공의 안전성을 확보하며 → 필요할 경우 정비 및 청소 등 개선조치 가능
◆ 지열공 및 시설물 보호기능 매우 취약	◆ 완벽한 시설물 보호기능 확보
콘크리트맨홀과 철판뚜껑 등으로 구성된 지열공상부보호시설은 외부 오염물질이 손쉽게 유입돼지하수오염 가능성이 크고 혹한기에는 시설물이 동파에 노출되는 등 지중열교환기(지열공) 보호기능이 매우 취약하고, 규정된 일정한 규격때문에 설치 후에 미관성이 떨어짐	지중열교환기(지열공)에 설치되는 내부시설물을 결속·고정하고, 덮개부를 밀폐하는 기능을 가진 상부보호관을 설치해서 외부 오염물질 유입을 원천 차단하고 시설물의 훼손 및 동파를 효과적으로 방지하는 완벽한 보호기능을 확보하며, 현장환경에 적합한 시공으로 미관성이 뛰어남
◆ 설치시공 및 사후 유지관리가 불편	◆ 설치시공 및 사후 유지관리 편리성 확보
지하수 취수구간과 회수구간을 분리하기 위해서 지열공 전구간에 설치한 PVC파이프에 문제가 발생하는 경우, 부분수리 또는 교체가 불가능하기 때문에 개선조치 등 사후 유지관리에 특히 어려움이 많음	밀폐식 상부보호관 내부에 구비된 결속뭉치를 이용해서 지열공에 설치되는 내부설비를 손쉽게 결합·고정하거나 또는 분리·철거하는 원터치 기능을 확보함으로서 내부시설물 정비점검 등 사후 유지관리가 편리함

○ 연구개발 기술의 장점 및 효과

장점	효과
지하수 순환체계의 최적화 지하수를 공급하는 수중모타펌프를 취수공의 상부에 설치하고, 지하수주입관을 상기 취수공 바닥부까지 설치하여 회수되는 지하수가 취수공 하단부에 배출된 후, 천천히상부로 이동하도록 하는 지하수 순환체계의 최적화	- 지중열교환기(지열공) 열복원 능력 극대화
정비작업이 가능한 지중열교환기 암반층을 굴착한 나공(Borehole) 상태의 지하수취수정에 수중모타펌프와 지하수주입관만 설치한 구조로서, 지하수 순환체계의 장애등 하자가 발생할 우려가 없고, 필요시 정비 또는 청소가 가능한 내부구조	- 지중열교환기의 치명적 하자발생 방지 - 유지관리 효율성 확보
밀폐식 상부보호시설의 설치 지하수 취수공의 상단부에 연장·체결되는 구조로 내부에는 취수공 안에 설치되는 수중모타펌프 및 지하수주입관의 고정기능을 가지며, 상단 덮개부는 밀폐기능을 갖는 원형관 형태의 밀폐식 상부보호시설 구축	- 시설물의 훼손 및 동파 방지 - 외부 오염물질의 유입 방지 - 지중열교환기의 미관성 확보
지하수 순환체계의 원터치 결속 및 분리구조 지하수취수정에 설치하는 수중모타펌프와 지하수주입관을 체결한 상태로 유도관결합부에 자동으로 결속 또는 분리되면서 매설 배관과의 연락과 단절이 용이하게 구현되는 밀폐식 상부보호시설의 내부구조	- 지중열교환기 설치작업 및 내부시설물 유지관리의 편리성 확보

제2절 지중열교환기 온도 모니터링기술 개발 및 현장 적용

1. 심도에 따른 온도 측정장치 제작

가. 온도모니터링을 위한 온도센서

(1) 아이버튼 (i-button)

○ i-button온도센서는 온도를 측정하는 조그마한 센서로써, 크기는 직경이 1.63cm의 작은 수은건전지 모양이다. 사용자의 목적에 따라 온도 측정간격을 설정하여 원하는 장소에 i-button을 설치하면 i-button 내부에서 전원을 공급받아서 온도 data를 스스로 저장한다.

○ i-button은 온도변화에 민감한 냉동창고나 음식물 수송차량의 내부에 설치하여 온도 변화를 쉽게 알기 위해서 개발되었다.

○ 미국 TxDOT(텍사스 도로국)에서는 콘크리트 포장의 공용성에 대해 많은 연구를 하고 있다. 최근의 어느 한 연구에서 콘크리트 양생온도를 측정하는데 기존의 온도계인 thermocouple을 사용하지 않고 i-button을 사용하였다. 그 결과 우리나라에서의 결과와 마찬가지로 적용성이 우수함을 검증하였다.

(2) 아이버튼(모델:DS1921G)의 특징

(가) 온도 범위 및 정확도

○ 측정 가능한 온도 범위는 모델에 따라 약간의 차이가 있으나 콘크리트 포장 적용에서 사용한 것은 -40℃~85℃이며 0.5℃ 단위로 증감한다.

○ 정확도는 -20℃~75℃에서 1℃ 이다.

(나) 저장 및 전송

○ 자체 내부전원(리튬 배터리)으로 외부의 도움이 없이 data 저장이 가능하다.

○ 4,096 bits의 read/write memory가 내장되어 있어 한번의 명령에 2,048번의 온도 측정이 가능하다(온도 1회 측정시 2bits 소요됨).

○ 온도 저장 간격은 1분~255분까지 분단위로 설정 가능하다.

○ 1시간 간격으로 온도 측정시 85.3일 동안 온도 저장이 가능하다.

○ 256 bits의 보조기억장치 내장되어 있다.

○ data download에 필요한 소프트웨어는 web site에서 무료로 다운이 가능하다.

(다) i-button 수명

○ 자체 내부전원(리튬 배터리)의 수명은 10년이다.

○ 85℃가 넘는 온도에 노출될 경우 리튬의 수명은 줄어든다.

(라) i-button viewer 소프트웨어 특징

○ i-button에 data 저장명령을 주거나 data download에 필요한 소프트웨어이다.

○ 사용자가 원하는 온도 측정 방법에 관한 여러가지 명령을 줄 수 있다.

○ 실시간으로 시간-온도 그래프와 히스토그램을 보여줄 수 있다.

○ 사용자가 임의로 온도 범위를 설정할 수 있는데, 만약 온도가 그 범위를 벗어나게 된다면 알람기능에 의해 그 때의 시각과 지속시간을 기록한다.

(3) 그 외에 특징

○ 시계 정확도는 0℃~45℃ 범위에서 ±2 minute/month이다.

○ i-button 내부의 시간/날짜는 언제든지 조정할 수 있다.

○ 거친 환경에도 파손의 우려가 적어 내구성이 좋다(stainless steel case).

○ 완전방수(waterproof)는 아니지만, 내수성(water-resistant)이 있다. 하지만 아이버튼이 물속에 잠기거나, 굳지 않은 콘크리트에 매립될 경우에는 방수와 합선방지를 위한 에폭시 도포나 글루건 도포를 해야 한다. 이러한 조건이 만족되는 접착력을 가진 재료가 있다면 어떠한 것을 사용하여도 무방하다.

○ 크기가 작아서 취급이 용이하다.

(4) 아이버튼(i-button) 및 어댑터(adapter)

○ 사용한 아이버튼은 모델명이 DS1921G 이다(그림 1).

○ 사용한 어댑터는 USB port adapter로 DS9490R 을 사용하였다(그림 1).

○ 어댑터는 i-button viewer 소프트웨어 락키(lock-key)의 용도로도 사용된다 (어댑터를 연결하지 않으면 소프트웨어 사용 불가).



[그림 3-28] 아이버튼(좌측) 및 어댑터(우측)

나. 수위별 온도 측정장치 설계

(1) 고려사항

○ 심도별 온도 측정장치는 지중열환기 내부 공간 협소(관측관 직경 25mm)로 최대 작은 크기의 온도센서 선택

○ 자체 저장 및 전원공급이 가능할 것
: 심도 400m 까지 측정 필요

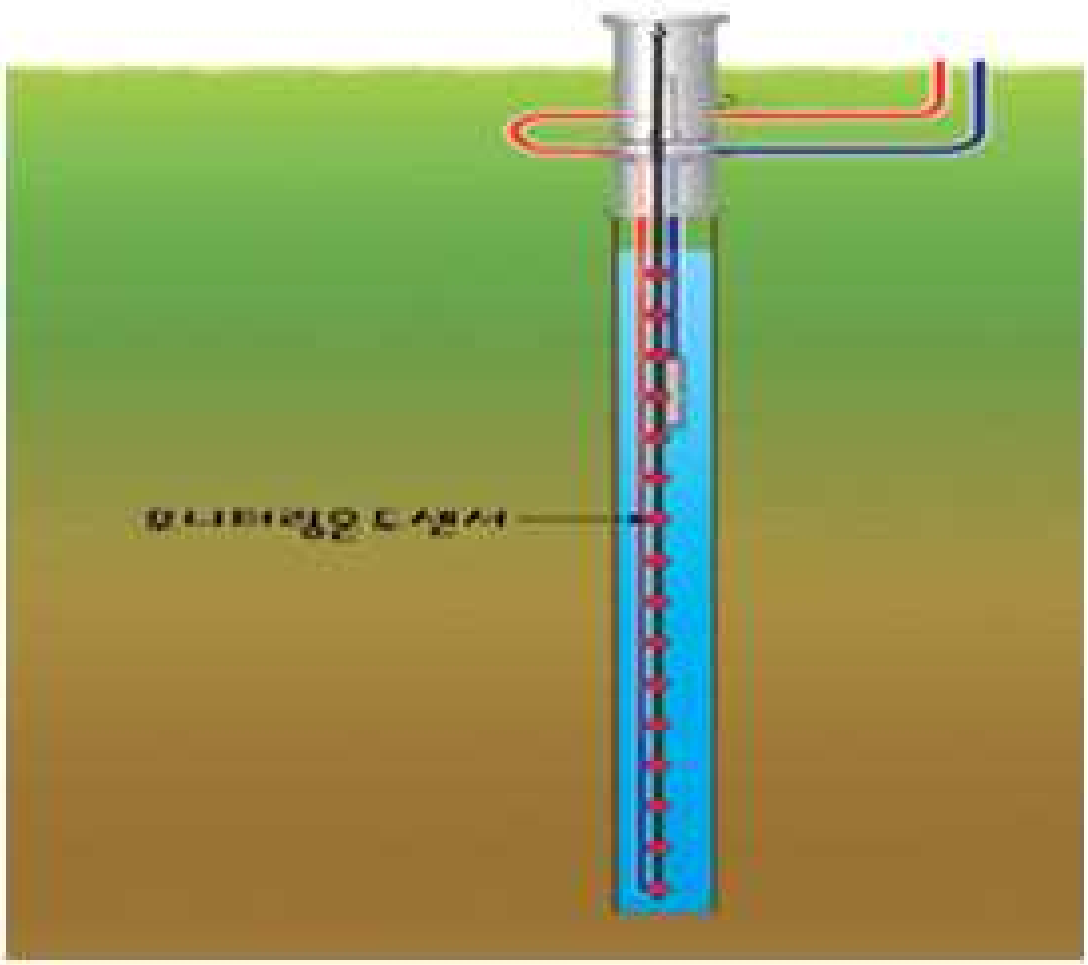
○ 방수기능이 있어야 함.

○ 온도센서 세팅 및 다운이 손쉬워야 함.

(2) 장치 구성

○ 온도센서(i-button), 스텐와이어, 릴

○ 400m 길이의 스텐와이어에 50m간격으로 온도센서 결속



[그림 3-29] 심도별 온도 측정장치 개략도



a. 온도센서 방수코팅

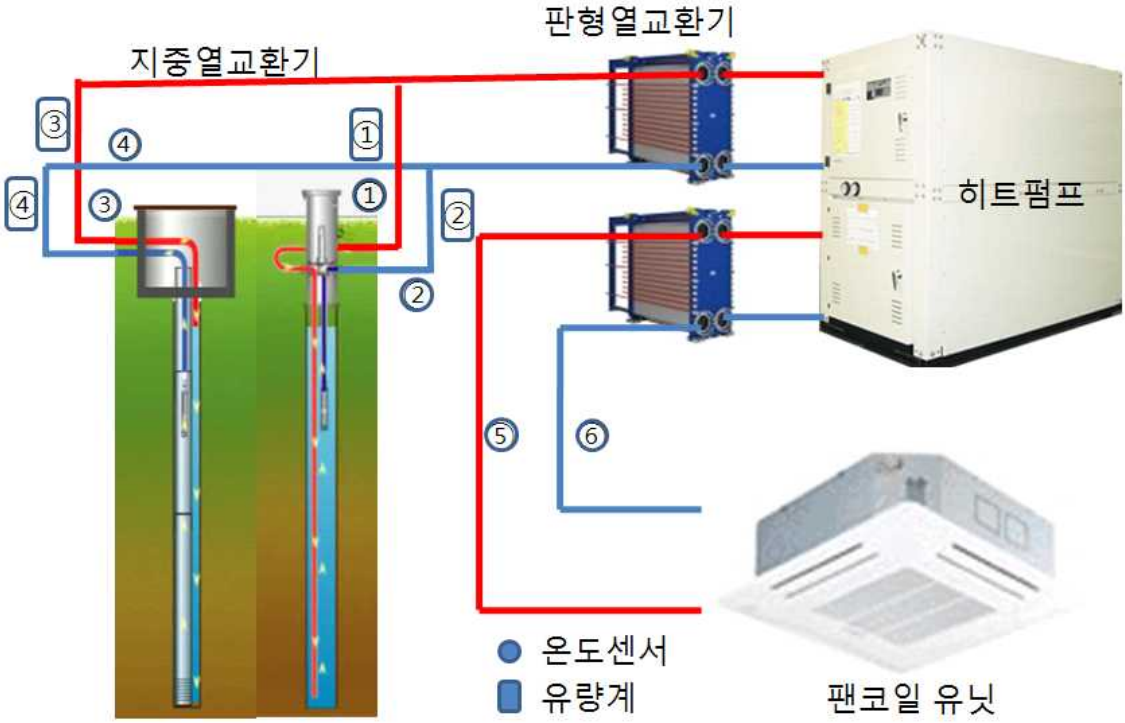


b. 심도별 온도 측정장치

[그림 3-30] 심도별 온도 측정장치 개발

2. 온도모니터링 시스템 구축

○ 지중열교환기 심도 온도모니터링과 병행하여 기계배관에 온도센서(T형) 6개와 유량계 4개를 설치하여 기존 및 개발지중열교환기의 생산열량을 비교하였다.



[그림 3-31] 모니터링 센서 설치 개략도

[표 3-8] 설치위치 별 모니터링 센서

번호	위치	장 비 명	비고
①	개발 지열공 입구	온도센서	
②	개발 지열공 출구	온도센서	
③	개발 지열공 입구	온도센서	
④	개발 지열공 출구	온도센서	
⑤	개발 지열공 입구	온도센서	
⑥	개발 지열공 출구	온도센서	
①	개발 지열공 입구	Magnetic 유량계	
②	개발 지열공 출구	Magnetic 유량계	
③	개발 지열공 입구	Magnetic 유량계	
④	개발 지열공 출구	Magnetic 유량계	

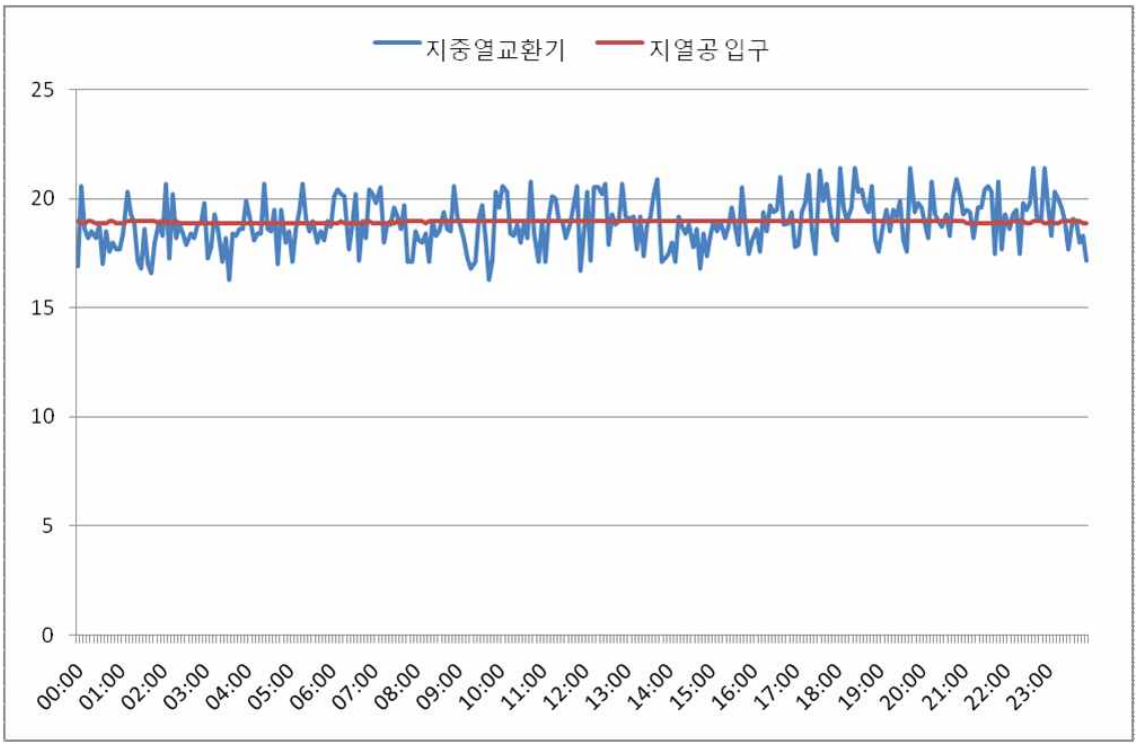
3. 지중열교환기 심도에 따른 온도모니터링 결과

○ 지중열교환기의 심도에 따른 온도모니터링은 지열정 2호공 및 4호공을 대상으로 실시하였다.

○ 온도모니터링은 2012년 11월부터 측정을 시작하였으나 지열시스템을 사용을 시작하지 않아 2013년 1월부터 지열시스템의 부하에 따른 심도별 지중열교환기 온도변화에 관한 측정을 할수 있었다.

○ 농심 아산공장 내 제분공장 포장실의 냉난방 부하는 냉방시 고부하, 난방시 저부하를 필요한 부하의 불균형을 보인다. 그 원인은 산업시설인 포장실은 내부 기계장비(포장기) 및 과다한 상시근무인원으로 인해 발생하였다.

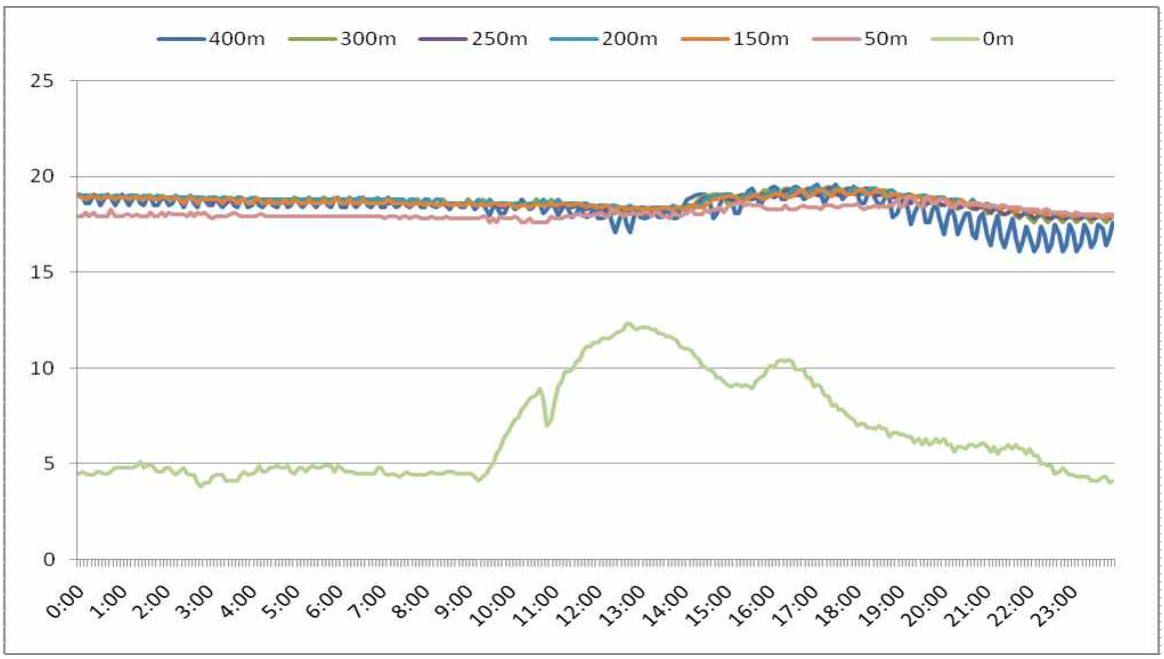
○ 아래 [그림 3-24]는 지중열교환기 취수부(400m)의 온도와 기계실 판형열교환기 입구에서 축정한 온도를 나타내는 것으로 지중열교환기 내부의 온도변화는 일정한 것에 비하여 기계실 판형열교환기 입구에서 2~3℃의 온도변화를 보이는 것을 알 수 있다.



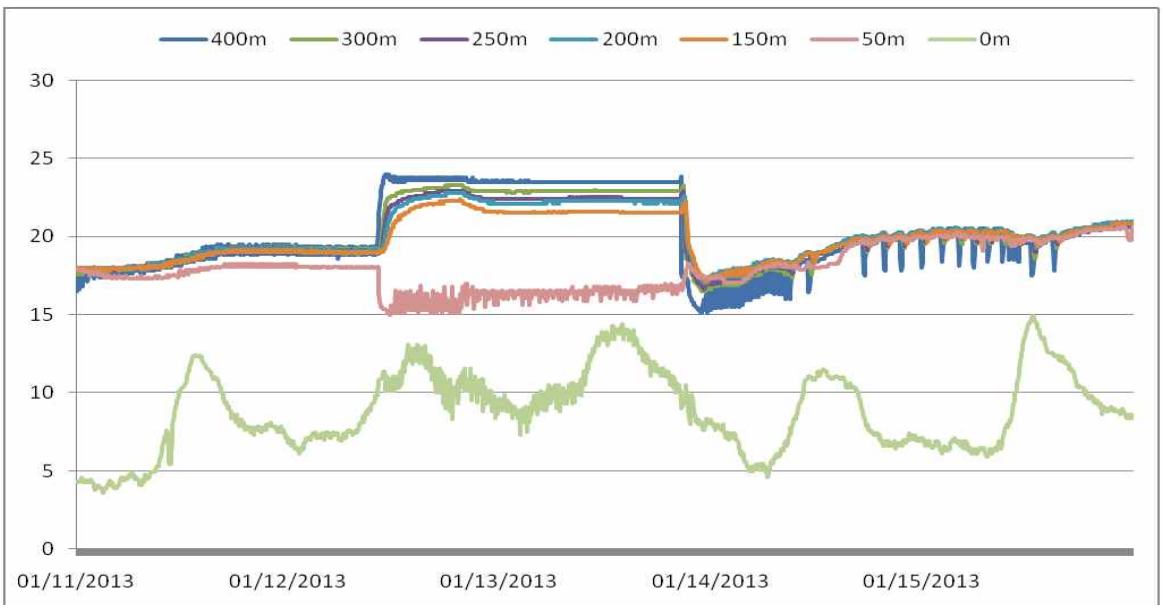
[그림 3-32] 지중열교환기 취수부와 기계실 판형열교환기 입구의 온도비교

○ [그림 3-25]은 개발 지중열교환기의 심도별 온도 변화를 도표한 그래프이다. 0m에서는 외기온도의 영향으로 급격한 온도변화보이고 있으나, 나머지 심도별 온도는 모두 일정한 온도를 형성한다. 이는 지중열교환기 내부 지하수가 순환하여 50~400m까지 지하수의 영향을 받는 심도에 관계없이 모두 일정한 온도를 유지하는 것으로 판단된다.

○ [그림 3-26]은 개발 지중열교환기의 심도별 온도 변화를 5일간 도표한 그래프이다. 1월 13일에 급격한 지중온도상승은 지열시스템이 정지한 것을 의미하며, 열복원속도가 매우 빠른 것을 알 수 있다.

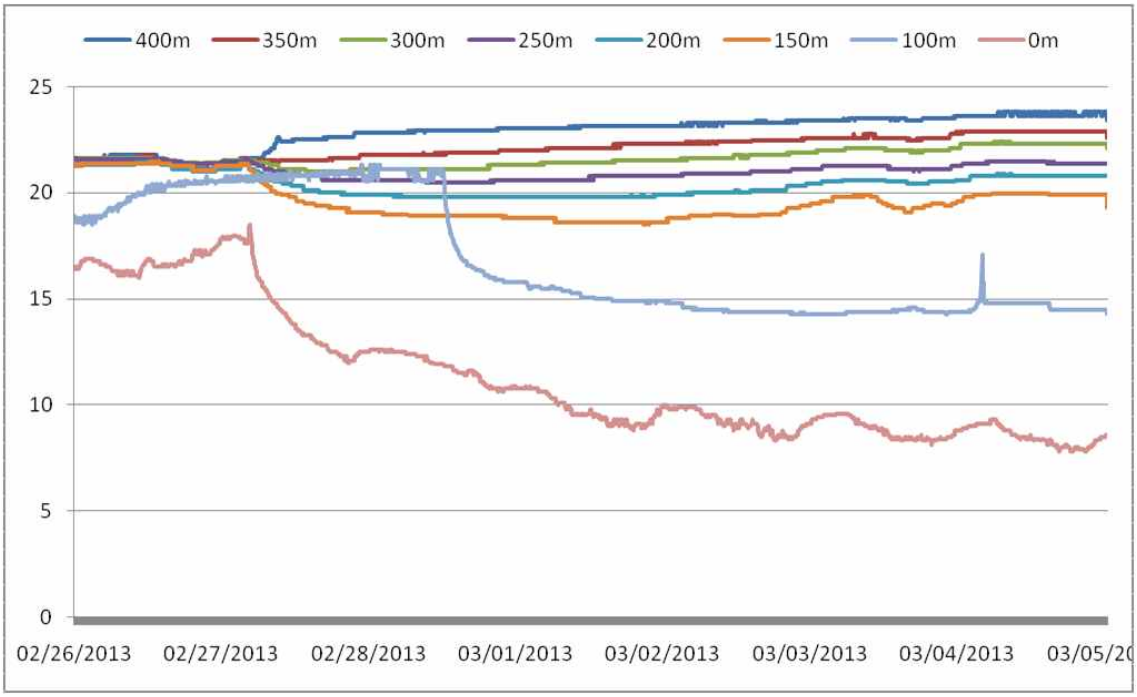


[그림 3-33] 지중열교환기 심도별 온도비교(2013년 1월 10일)

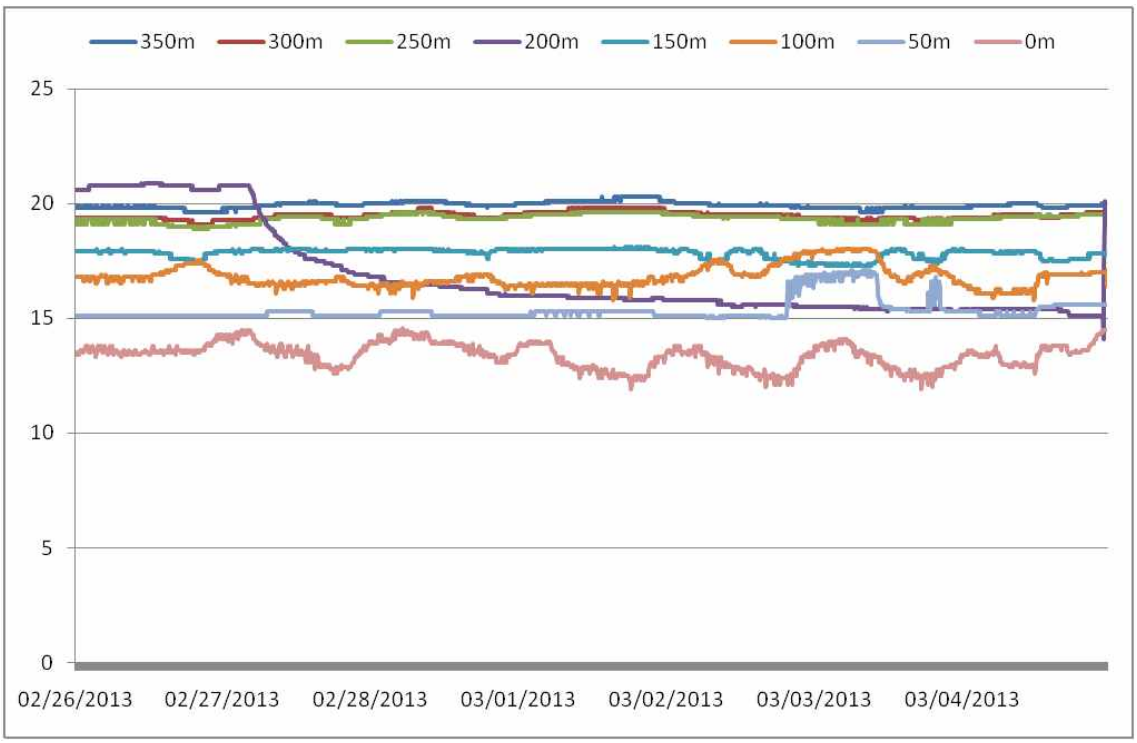


[그림 3-34] 지중열교환기 심도별 온도비교(2013년 1월 11일~15일)

○ [그림 3-27과 3-28]은 지열시스템이 모든 지열시스템이 정지하였을 때 지중 온도변화를 나타내는 것으로 심도별 온도복원 속도가 매우 빠른 것을 알 수 있다. 350m지점에서 2번과 4번 지열공의 온도를 비교하면 약 3℃정도의 차이를 보이며, 국내 다른 지역(평균 15~18℃)과 비교해보아도 매우 높은 온도를 보이고 있다.

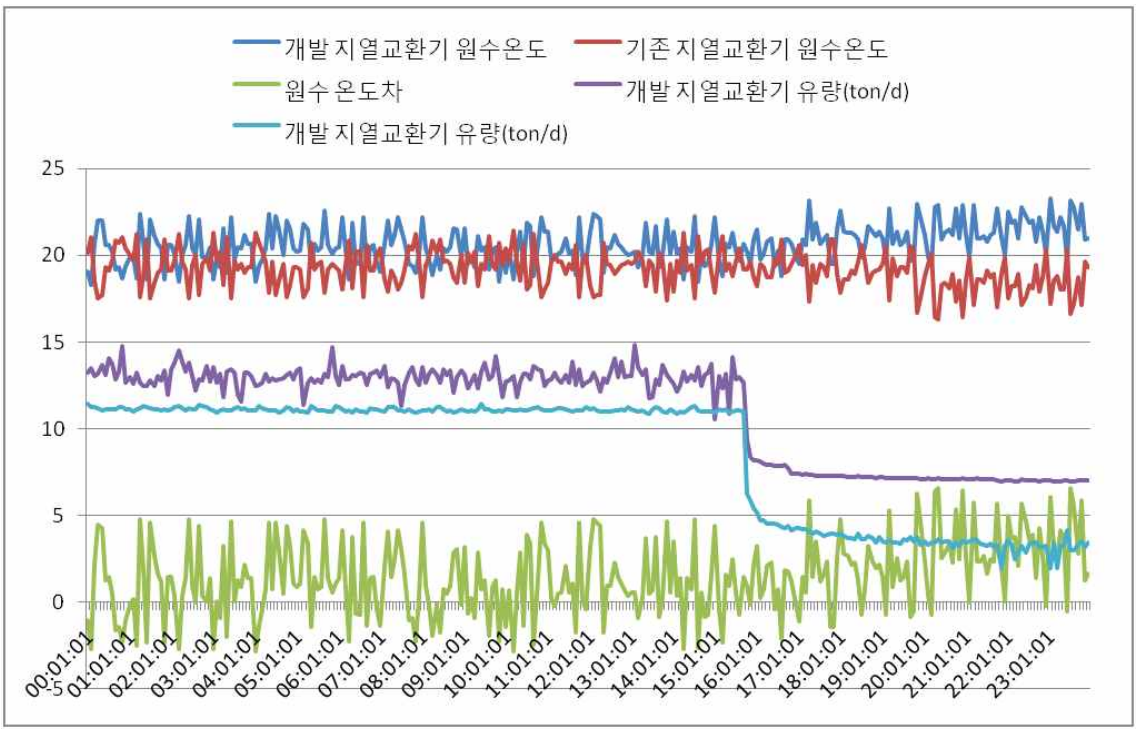


[그림 3-35] 2번 지열공의 온도 복원

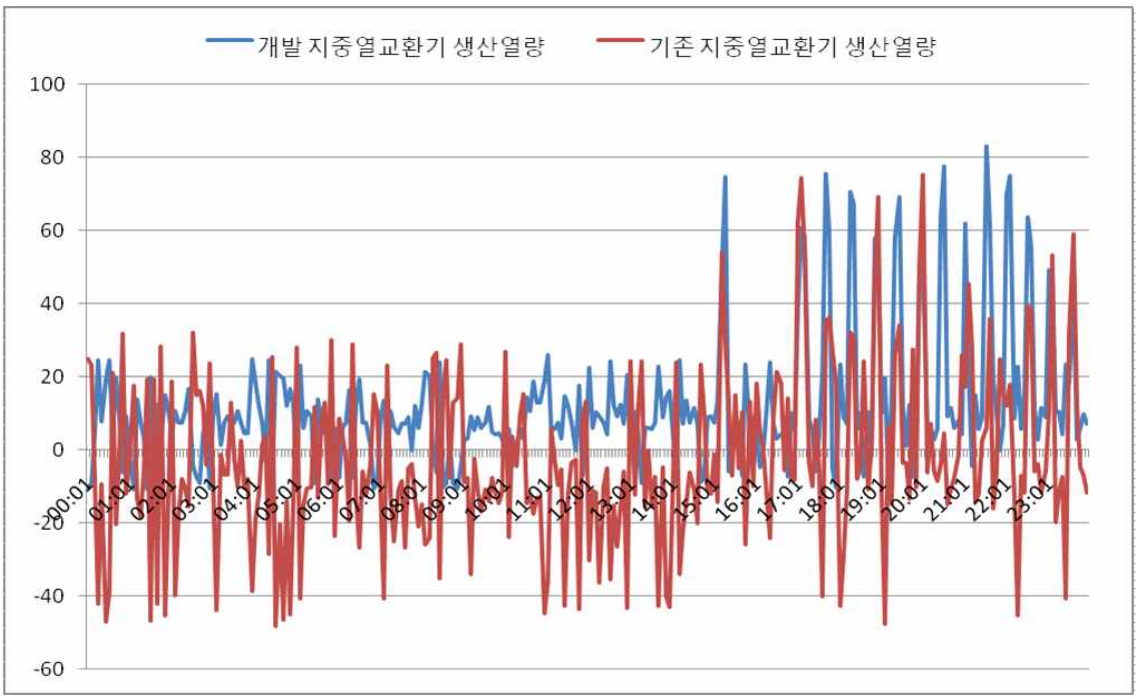


[그림 3-36] 4번 지열공의 온도 복원

○ [그림 3-29과 3-30]은 개발 및 기존 개방형지중열교환기의 원수온도와 순환유량을 도표한 그래프이다. 개발 지중열교환기의 온도와 유량이 많은 것을 알수 있으며, 이는 개발 지중열교환기가 기존 지중열교환기와 비교하여 더 많은 열량을 생산하는 것을 나타낸다.



[그림 3-37] 개발 및 기존 개방형지중열교환기의 원수온도와 순환유량

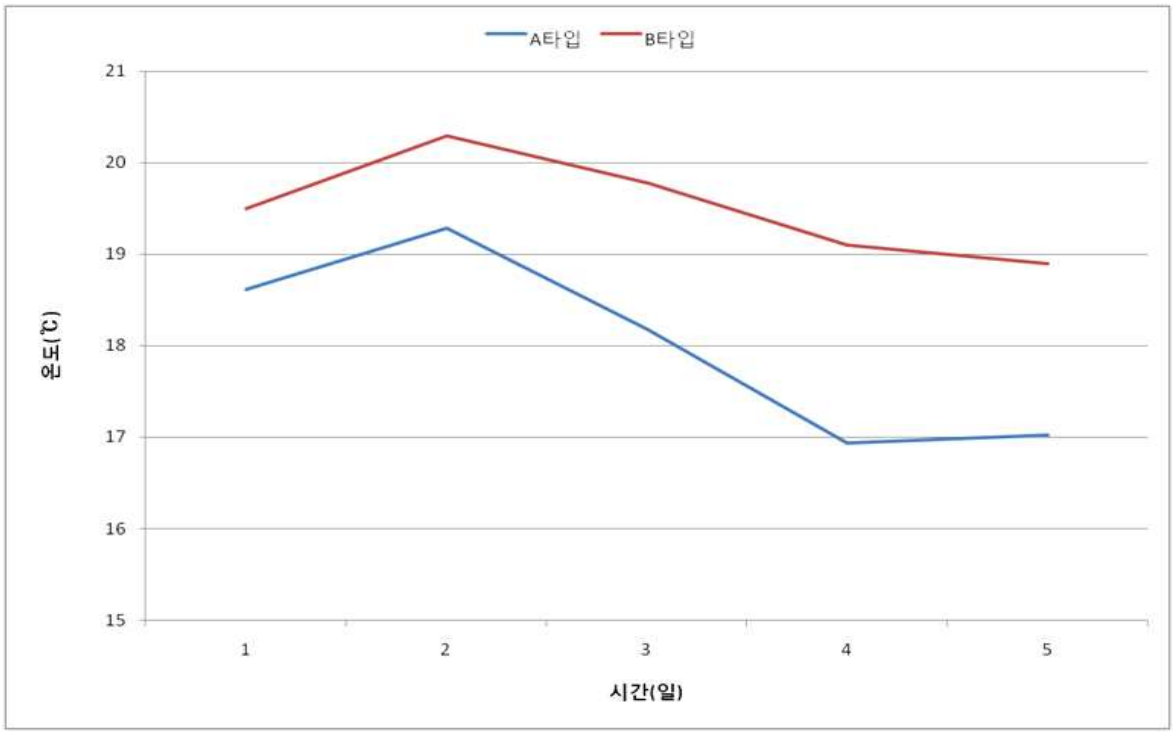


[그림 3-38] 4번 지열공의 온도 복원

○ 아래 표는 일별 평균생산열량과 평균열복원량을 나타낸 것이다.

구분	2월 4일		2월 5일		2월 6일		2월 7일		2월 8일	
	A타입	B타입	A타입	B타입	A타입	B타입	A타입	B타입	A타입	B타입
생산 열량 (kW)	28.6	65.8	23.2	31.7	32	37.7	31.2	43.4	32.6	45.6
열전 달량 (kW)	34.3	51.2	29.8	28.4	40	34.3	38.9	40	41.5	41
작동 시간 (분)	465	595	490	585	645	1,080	700	1,260	705	1,065

○ 아래 그림은 일별 평균 열원수의 온도변화를 나타낸 것이다.



○ 위 결과로 생산 열량에 있어 개발 지중열교환기의 성능이 기존 지중열교환기 보다 높게 났타나는 것을 알 수 있다.

○ 동일한 운전조건에서 모니터링을 실시하여야 하지만 각 지열공의 성능차이로 불가능하였다. 그러나 개발 지중열교환기의 경우 30%이상 많은 열에너지를 생산하고 지중으로 전달하는 것을 알 수 있다. 또한 일평균온도에 있어서도 기존 지중열교환기는 2℃이상 변화가 있는 반면 개발 지중열교환기는 1℃내외의 온도변화를 보이고 있어 개발지중열교환기의 성능이 기존 열교환기와 비교하여 10%이상 성능이 향상되었다 판단된다.

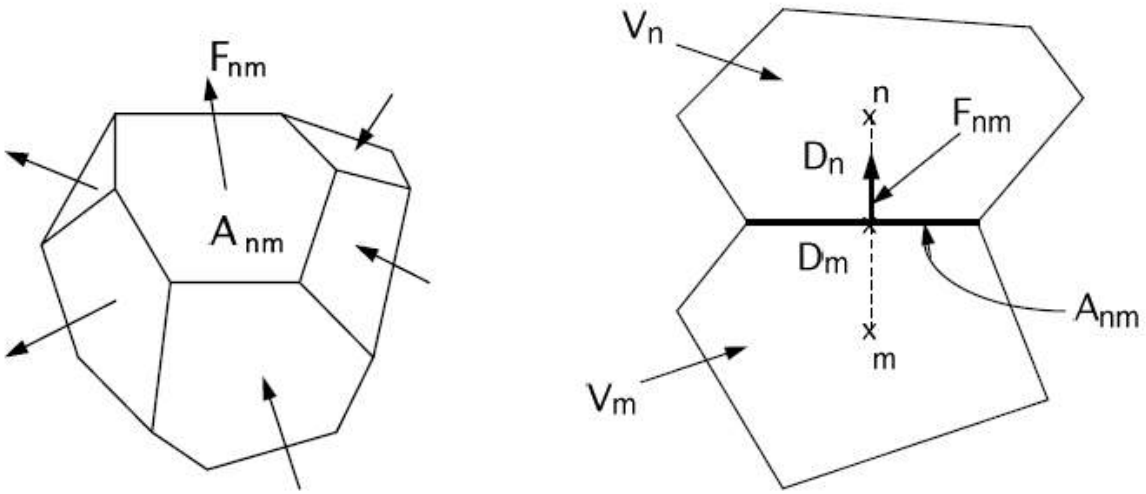
제3절 지열 평가 수치 모델링 기법 구축(지열수주정(SCW) 방식을 중심으로)

1. 평가에 사용된 수치 모델

가. 열-수리학적 수치 모델

○ 연구에 사용된 열-수리학적 수치 모델은 TOUGH2 (Pruess et al., 1999)이다. TOUGH2는 다상/다성분의 유체 유동 및 열 이동 수치 모델이며, Integral Finite Difference Method(Narasimhan and Witherspoon, 1976)에 기반하여 모델링 영역을 이산화하기 때문에 불규칙하고 불균일한 격자 요소를 사용 가능한 장점이 있다(그림 1). 이 수치 모델에서는 불포화 수리특성과 모세관압력에 대한 다양한 모델이 고려 가능하며, 다양한 유체의 특성을 모듈(module)을 통하여 고려 가능하다. 즉 온도와 압력의 변화에 따른 지중 유체의 밀도 및 동적점성계수 변화가 고려 가능하다. 본 연구에서는 지하수와 수증기의 유체 특성을 고려할 수 있는 EOS4 모듈을 사용하였다.

○ 수직 개방형 지중열교환기는 내부에 PVC 또는 PE 파이프 등의 복잡한 구조를 가지므로 이를 단순화하여 등가(equivalent)의 격자 요소로 이산화하는 것이 필요하다. 전술한 바와 같이 TOUGH2는 불규칙하고 불균일한 격자 요소를 실제가 아닌 가상의 연결을 통하여 구성할 수 있기 때문에(그림 1) 이러한 등가의 격자 요소를 고려하는데 매우 적합하다. 또한 열-수리학적 현상을 모사할 수 있는 기존의 FEFLOW 또는 COMSOL등의 모델은 사용자에게 source code가 제공되지 않으므로 수직 개방형 지중열교환기의 모사에 필요한 사용자 기능을 추가할 수 없다 반면 TOUGH2는 source code가 제공되므로 이를 기반으로 필요한 기능을 추가하여 본 29연구에 활용하였다.



[그림 3-39] IFD(Integral Finite Difference) 기반 수치 모델에서의 격자 요소의 특징(Pruess et al., 1999).

나. 수치 모델의 수정

○ 수직 개방형 지중열교환기 내에서 일어나는 유체 유동과 열 이동을 효과적으로 모사하기 위하여 다음의 두 가지 기능을 개발하여 TOUGH2에 통합하였다.

① 먼저 수정하기 이전의 TOUGH2는 각 격자 요소들의 경계를 통하여 질량 이동(유체 유동) 및 열 이동(열 이송 및 전도)이 반드시 동시에 계산된다. 그런데 수직 개방형 지중열교환기(SCW)의 내부 구조 및 열 이동 현상(열교환기 내부의 파이프 등)을 엄밀하게 모사하기 위하여 특정한 요소들의 경계를 통하여 유체 유동은 일어나지 않고 열 이동(열전도)만이 고려되는 연결 기능을 개발하여 수치 모델에 추가하였다. 여기에서 유체 유동 영역(파이프 내부)와 열 이동 영역(파이프 자체)간의 연결뿐만 아니라 열 이동 영역(파이프 자체) 내의 격자 요소간에도 개발된 연결 기능을 설정하여 사용하였다. TOUGH2에서는 질량 및 에너지 보존 방정식이 식 1과 같이 표현되며, 여기에서 각 요소간의 경계에서의 유체 유동 flux가 식 2와 같이 표현된다. 개발된 연결 기능이 설정된 경계에서는 유체 유동 flux를 계산하지 않게 되며, 따라서 열 이동 flux를 표현하는 식 3에서 뒤쪽의 이송(advection) term은 고려되지 않고 앞의 전도(conduction) term만이 고려되게 된다. 이러한 새로운 기능들은 기존의 TOUGH2 입력 자료의 호환성을 최대한 유지하도록 입력 방식 설계하였다.

$$\frac{d}{dt}\int_{V_n} M^k dV_n = \int_{\Gamma_n} F^k \bullet n d\Gamma_n + \int_{V_n} q^k dV_n \qquad \text{(식 1)}$$

$$F^k|_{adv} = \sum_{\beta} X_{\beta}^k F_{\beta} \qquad \text{(식 2)}$$

$$F^{NK+1} = -\lambda \nabla T + \sum_{\beta} h_{\beta} F_{\beta} \qquad \text{(식 3)}$$

② 두 번째로 수직 개방형 지중열교환기를 통하여 히트펌프로 유입된 지하수는 온도를 잃거나(난방) 얻은 후(냉방) 다시 주입되며, 이때 실제 냉난방은 유입수와 유출수의 온도 차이를 통해 제어된다. 이를 모사하기 위하여 유입수는 유입유량이 sink 형태의 경계조건으로 유출수는 유출유량 및 온도가 source 형태의 경계조건으로 고려된다. 여기에서 운영 중 유입수와 유출수의 온도 차이가 고려되어야 하며, 이를 위하여 이전 시간구간의 유입수 온도에서 사용자가 입력한 만큼(시계열 입력)의 온도를 가감하여 이번 시간구간의 유출수의 온도로 부여하는 기능을 추가하였다. 한편 TOUGH2에서는 유출수의 온도가 아닌 엔탈피를 입력해야 하므로 유출지점의 압력과 계산된 온도에 상응하는 엔탈피를 계산하는 기능을 동시에 추가하였다. 또한 이러한 새로운 기능들을 기존의 TOUGH2 입력 자료의 호환성을 최대한 유지하도록 입력 방식 설계하였다.

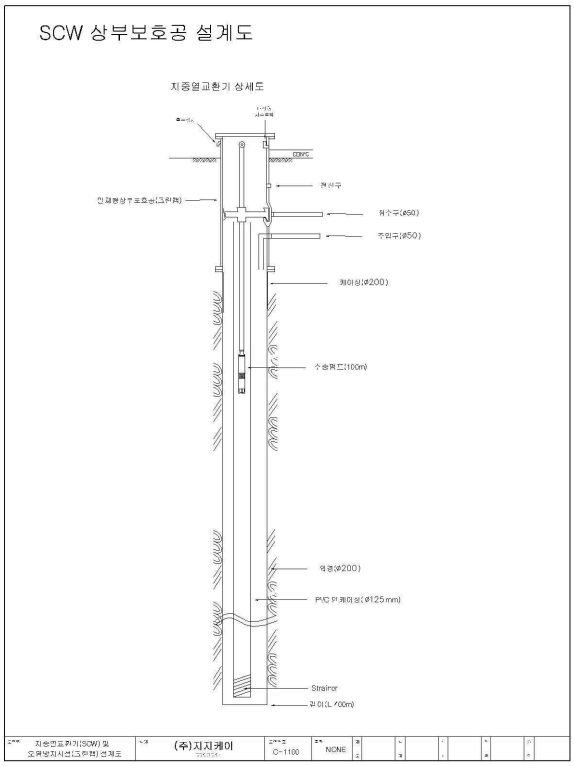
2. 수치 모델링 개요

가. 수치 모델링 대상

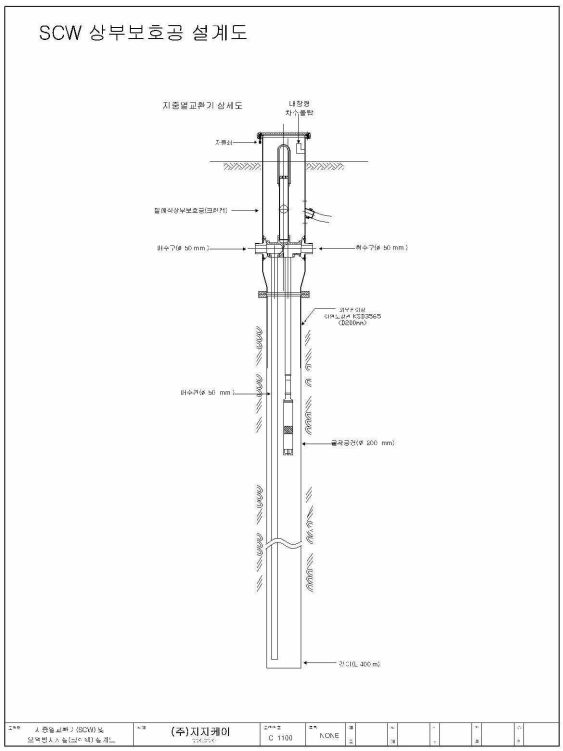
○ 연구 대상 지역에 설치 및 운영 중인 수직 개방형 지중열교환기 및 주변 지층을 수치 모델링 대상으로 하였다. 주변 지층은 각섬석편마상화강암으로 구성되며, 지표로부터 42~80 m 심도에서 암반층이 분포하기 시작한다. 한편 지하수위는 지표로부터 약 54~68 m 심도에 위치한다. 수직 개방형 지중열교환기는 지표로부터 −400 m 심도까지 설치되어 있다. 이러한 조건들을 반영하여 지표로부터 −50 ~ 450 m 심도의 주변 지층을 수치 모델링 영역으로 하였다.

○ 수직 개방형 지중열교환기는 다음의 두 가지 형태로 고려되었다(그림 2). 먼저 type a는 기존의 방식과 같이 PVC파이프를 통하여 하부의 지하수가 유입되고 지중열교환기 상부에서 이를 다시 주입하는 형태이다. 반면 type b는 본 연구에서 새로 시도하는 방식으로 지중열교환기 상부에서 지하수가 유입되고 PE파이프를 통하여 하부에 이를 다시 주입하는 형태이다. type a와 type b 모두 지표로부터 400 m 심도에 설치되어 있으며. 지중열교환기의 직경은 200 mm이다. type a의 경우 직경 125mm의 PVC파이프가 있으며, 하부 12 m가 스크린 구간이다. 반면 type b의 경우 직경 50mm의 PE파이프가 있으며, 하부 12 m가 스크린 구간이다. type a와 type b 모두 100 m 심도에 수중 펌프가 존재하며, 여기에 직경 50mm의 스테인리스 파이프가 연결되어 heat pump의 입수부로 연결된다. type a의 경우 수중 펌프가 PVC 파이프 내에 위치하는 반면 type b의 경우 지중열교환기 내에 위치한다.

(a)기존의 방식 (type a)



(b) 본 연구에서 새로 제안된 방식 (type b)



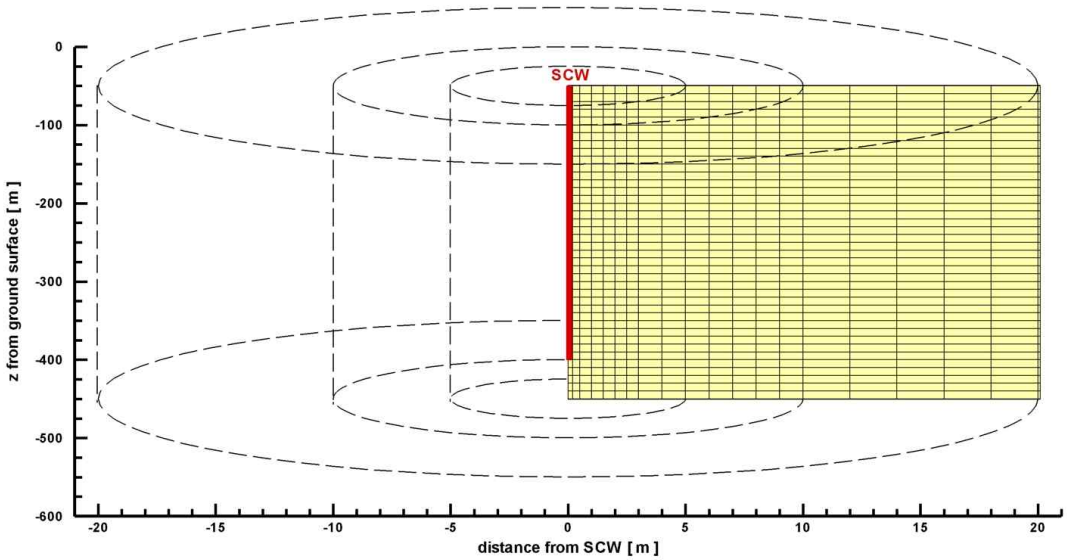
[그림 3-40] 수직 개방형 지중열교환기의 설계도

나. 수치 모델링 설정

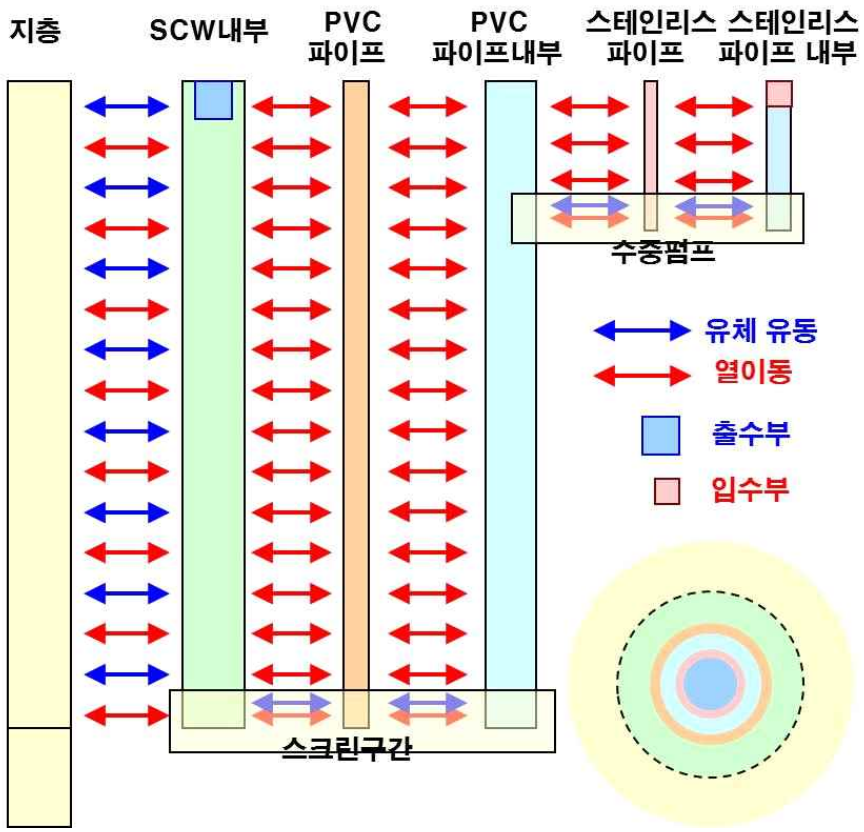
○ 모델링 영역 내의 주변 지층은 반경 20 m, 높이 400 m의 이차원 축대칭 격자로 설정하였다. 격자 요소는 수평방향으로 20개 수직방향으로 42개로 총 840개가 고려되었다(그림 3). 한편 수직 개방형 지중열교환기의 경우 모두 115개의 격자 요소로 구성되었으며, type a와 type b의 특징을 종합적으로 반영하여 구성하였다. 먼저 지중열교환기와 내부의 PVC 파이프, PE 파이프 및 스테인리스 파이프를 등가의 부피 및 연결관계(거리 등)를 가지는 1차원 격자의 집합으로 구성하였다(그림 4 및 5). 파이프들간의 등가거리(equivalent distance)는 Deng (2004) 및 박두희 등 (2010a, 2010b)의 연구에서 이용한 방법을 적용하였다. 다만 이들 연구와는 다르게 본 연구에서는 PVC 파이프, PE 파이프 및 스테인리스 파이프 자체를 그 부피와 연결 관계를 모두 실제로 고려하여 열교환 현상을 엄밀하게 모사하였다. 지중열교환기의 내부와 PVC 파이프, PE 파이프 및 스테인리스 파이프의 내부에서는 열 및 유체 이동이 모두 고려되었다. 지층과 지중열교환기 간의 수평 연결도 역시 열 및 유체 이동이 모두 고려되었다. 그러나 각 파이프와 파이프의 내외부는 수평적으로 유체 유동을 무시하고 열교환만이 고려되었다. 다만 여기에서 지중열교환기의 내부와 PVC 및 PE 파이프 사이에 스크린 구간이 있는 부분과 수중펌프가 있는 부분은 유체 열 및 유체 이동이 모두 고려되었다. type a 지중열교환기의 개념 모델과 격자 요소가 그림 4에 도시되어 있다. 그림에서 나타난 바와 같이 복잡한 파이프들을 파이프 내부와 파이프 자체로 분리하여 1차원 격자의 집합으로 모사하였고 스크린 구간에서 지중열교환기 내부와 PVC 파이프의 내부가, 수중 펌프가 위치하는 곳에서 PVC 파이프의 내부와 스테인리스 파이프의 내부가 각각 연결되어 열 및 유체 이동을 모두 고려하게 된다. 한편 type b 지중열교환기의 개념 모델과 격자 요소가 그림 5에 도시되어 있다. type a와 마찬가지로 복잡한 파이프들을 파이프 내부와 파이프 자체로 분리하여 1차원 격자의 집합으로 모사하였고 스크린 구간에서 지중열교환기와 PE 파이프의 내부가, 수중 펌프가 위치하는 곳에서 지중열교환기 내부와 스테인리스 파이프의 내부가 각각 연결되어 열 및 유체 이동을 모두 고려하게 된다. 이러한 개념의 연결 방식은 본 연구에서 사용된 TOUGH2가 Integral Finite Difference Method에 기반하기 때문에 가능하다.

○ 수치 모델링에 사용된 열-수리학적 물성치는 표 1에 정리되어 있다. 이들 물성들은 기존의 문헌 및 연구 결과들을 수집 및 검토하여 결정하였다(Freeze and Cherry, 1979; Titow, 1984; Domenico and Schwartz, 1990; Fetter, 1994; 송윤호, 2005). 본 연구에서는 수치적인 불안정성을 최소화하기 위하여 지중열교환기 및 각 pipe의 내부에서의 유체 유동을 darcy의 법칙을 따르는 것으로 가정하였고 난류에 의한 마찰 효과를 고려하지 않았다. 따라서 각 요소의 내부의 등가 고유투수계수는 Darcy-Weisbach 방정식에서 층류 가정을 이용하여 다음 식으로 계산되었다(Olson and Wright, 1990; Sutera and Skalak, 1993; Munson et al., 1998).

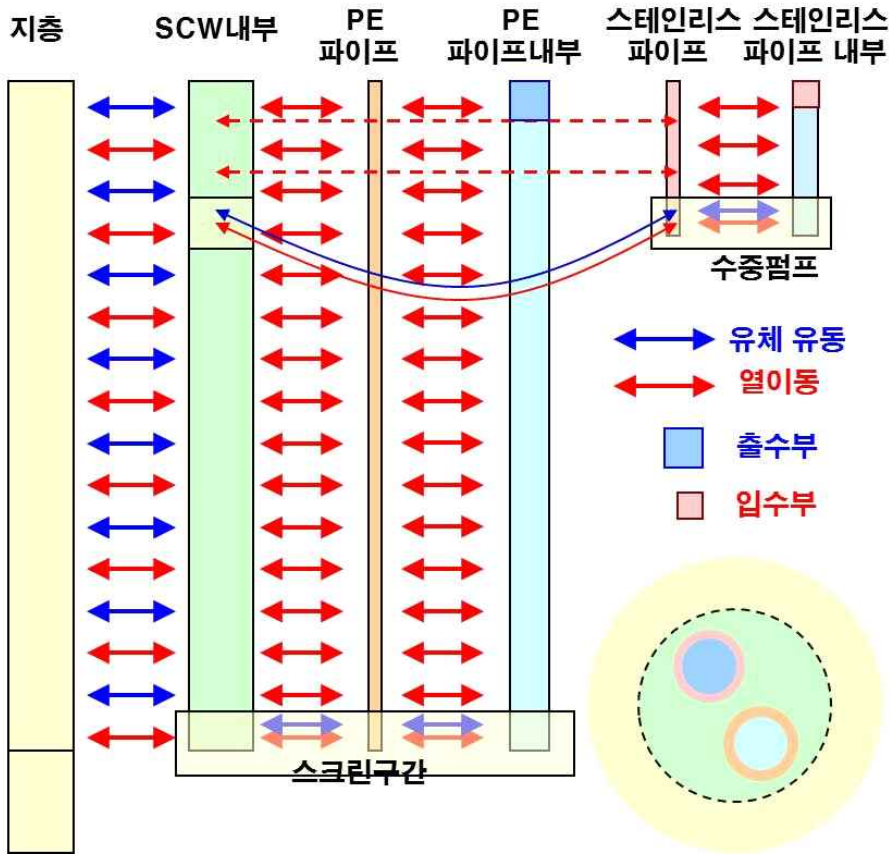
$$k_{wb} = \frac{D^2}{32} \qquad \text{(식 4)}$$



[그림 3-41]. 수치 모델링 영역의 개요.



[그림 3-42] 기존 방식의 수직 개방형 지중열교환기(type a)의 개념 모델 및 격자 요소 개요.



[그림 3-43] 새로운 방식의 수직 개방형 지중열교환기(type b)의 개념 모델 및 격자 요소 개요.

[표 3-9] 수치 모델링에 사용된 물성치.

	Bedrock	Inside of SCW	PVC pipe	Inside of PVC pipe	PE pipe	Inside of PE pipe	Stainless pipe	Inside of Stainless pipe
Porosity [%]	1.5	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0
Intrinsic permeability [m^2]	1.00×10^{-16}	1.25×10^{-3}	-	4.28×10^{-4}	-	5.51×10^{-5}	-	6.05×10^{-5}
Solid density [kg/m^3]	2,700	-	1,400	-	950	-	8,000	-
Heat conductivity [W/m/°C]	2.84	-	0.19	-	0.47	-	16.00	-
Specific heat [J/kg/°C]	960	-	1,046	-	1,465	-	510	-

○ 수치 모델링 영역의 초기의 압력 조건은 지표로부터 −50 m 심도에 지하수면이 있음을 가정하고 정수압 상태의 압력을 고려하였다. 초기의 온도 조건은 주변 지층에서는 지하수면 또는 모델링 영역의 윗면(z = −50 m)에서 15° C, 바닥면(z = −

450 m)에서 25.28° C이고 이에 따라서 평균 지온 경사가 0.0257° C/m인 것을 가정하였다. 한편 지중열교환기 내부는 운영 이전 내부 지하수 혼합에 의해 19.0° C로 균일한 것으로 가정하였다. 모델링 영역의 바깥쪽 경계(r = 20 m)에 대해서는 압력과 지온이 고정된 경계(Dirichlet boundary)를 고려하였다. 모델링 영역의 윗면(z = −50 m)은 압력과 지온이 고정된 경계를 반면 바닥면(z = −450 m)은 유체 유동은 불투수층으로 지온은 초기 조건이 고정되는 경계를 각각 고려하였다. 수직 개방형 지중열교환기는 6개월간 운영되는 것으로 모사하였으며, 유입수 및 유출수의 시간당 출입량은 대표 경우에 대해서 300 ton/day (3.472 kg/s)로 하였다. 운영 방법은 난방 모드로 유입수의 온도에서 5° C 낮은 온도가 유출수로 재주입되는 것으로 하였고 이때 유출수의 온도가 7° C 이하가 되면 이를 7° C로 고정하는 것으로 하였다.

다. 운영 시나리오

○ 본 연구에서는 수직 개방형 지중열교환기에 영향으로 주는 두 가지 요소를 우선적으로 고려하였다. 첫 번째는 주변 지층의 고유투수계수(Case A)이고 두 번째는 유입수 및 유출수의 시간당 출입량(Case B)이다.

○ 먼저 주변 지층의 고유투수계수(Case A)에 대해서 다음의 사나리오가 고려되고 그 민감도를 분석하였다.

- Case A−1 : 1.0 x 10^{-12} m^2
- Case A−2 : 1.0 x 10^{-14} m^2
- Case A−3 : 1.0 x 10^{-16} m^2 (대표 경우)
- Case A−4 : 1.0 x 10^{-18} m^2
- Case A−5 : SCW와 주변 지층간 유체 유동 없음

○ 다음으로 유입수 및 유출수의 시간당 출입량(Case B)에 대해서 다음의 사나리오가 고려되고 그 민감도를 분석하였다.

- Case B−1 : 100 ton/day
- Case B−2 : 200 ton/day
- Case B−3 : 300 ton/day (대표 경우)
- Case B−4 : 400 ton/day

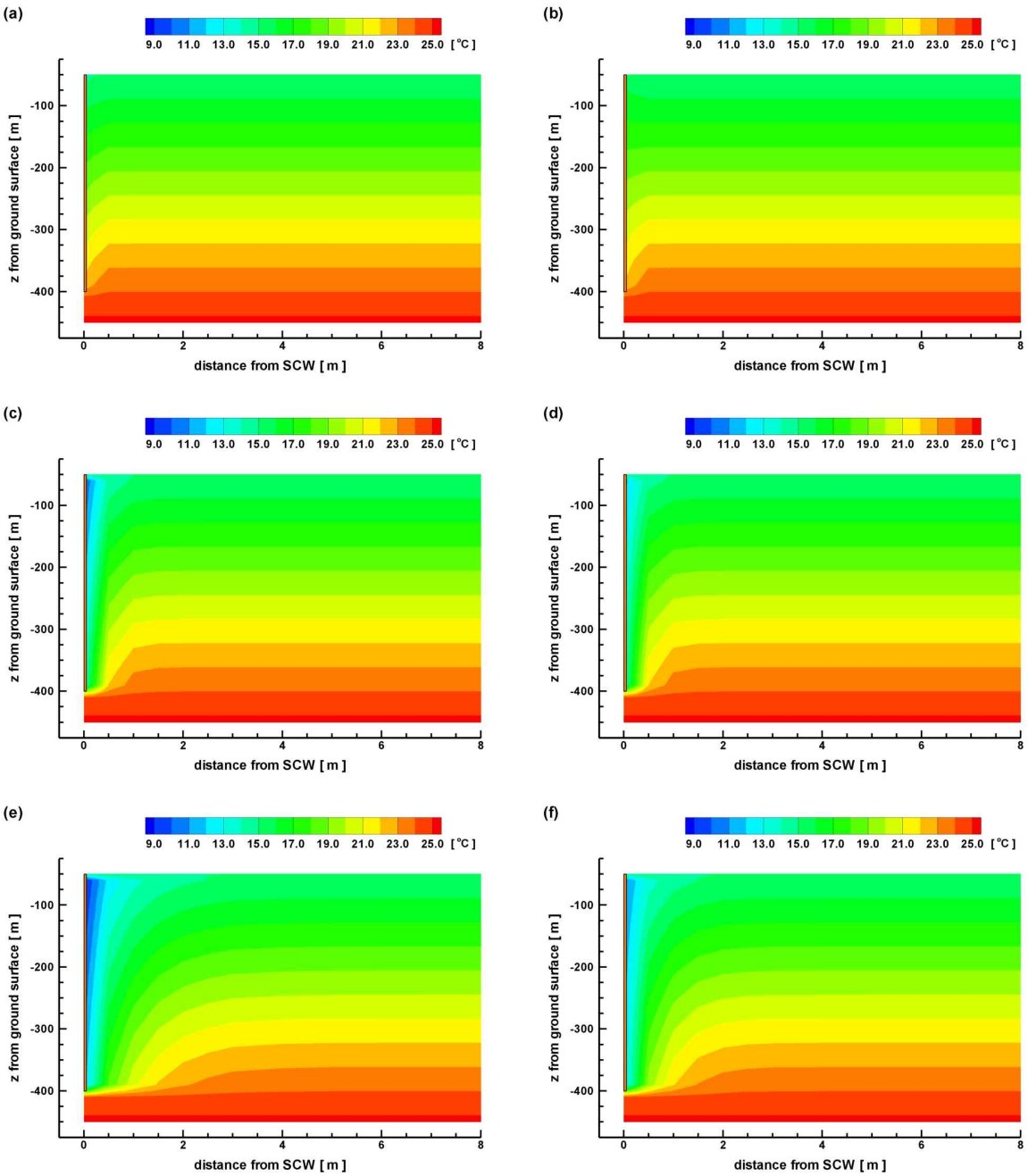
라. 대표 경우의 수치 모델링 결과

○ [그림3−36]는 각 Type별로 시간에 따른 SCW시설 주변 지층의 온도 분포를 수치 모델링을 통해 계산된 값으로 나타낸 것이다. 난방 운영시 시간이 경과함에

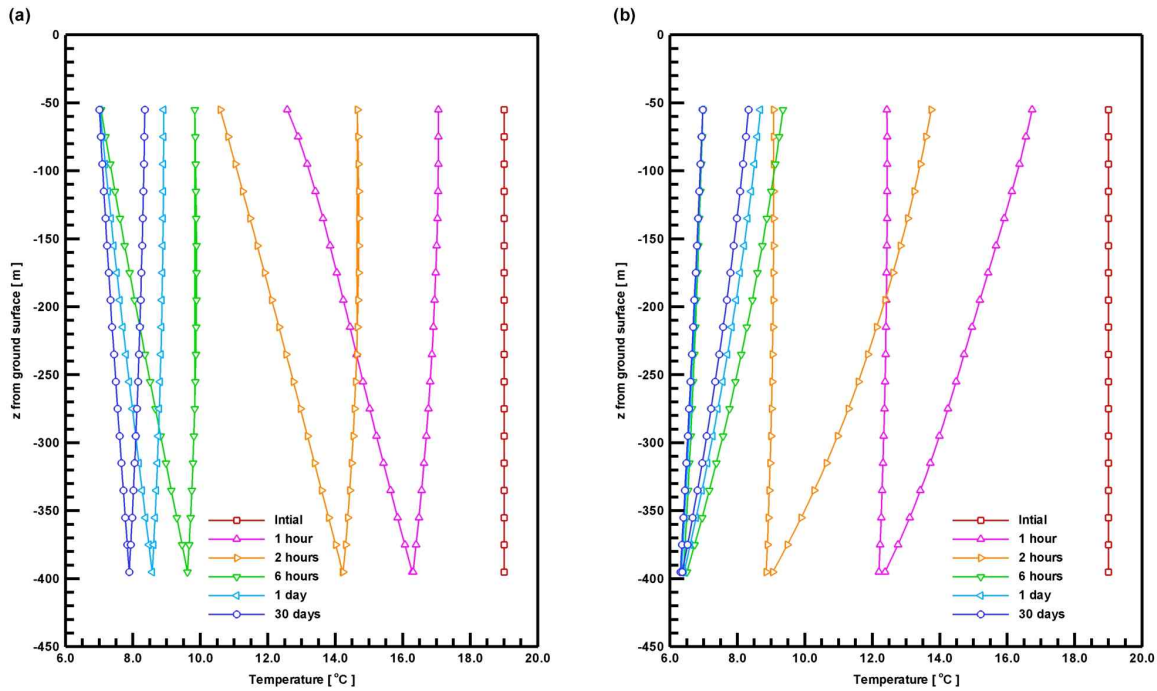
따라 주입수의 온도에 의해서 영향을 받는 반경이 증가하는 것을 알 수 있다. 하지만 영향을 받는 반경이 30일이 경과한 이후에도 SCW시설로부터 3~4m이내에 불과 한 것으로 나타났다.

○ 시설형태(Type)에 따른 온도 영향을 살펴보면 기존 타입인 A타입은 본 연구에서 새롭게 고안된 B타입보다 시설상부의 온도가 더 낮은 것으로 계산되었다[그림3-36]. 이는 A타입은 온도교환을 마치고 지중열교환기 내부로 유입되는 주입수가 상부로부터 주입되기 때문에 상부의 온도가 낮고 하부로 이동할수록 온도가 상승하는 양상을 보이고, B타입은 온도교환을 마친 유입수가 지중열교환기 하부로 주입되기 때문에 하부로 이동하는 동안에는 온도가 일정하다가 펌프가 위치하는 상부로 이동하는 동안 주변과 온도교환을 하면서 온도가 상승하는 양상을 보이고 있다[그림3-37].

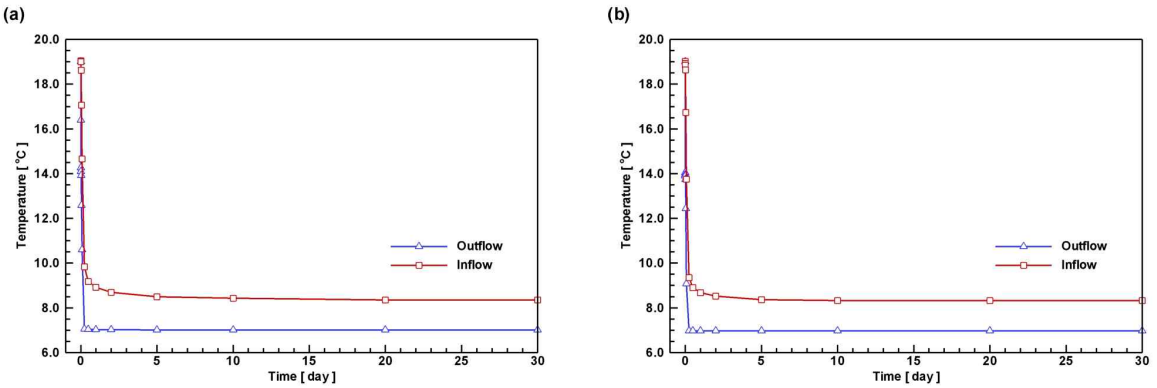
○ [그림3-38]는 시간에 따른 유입/유출수의 온도 변화 양상을 도표한 그래프이다. 두가지 타입모두 유사한 양상을 보이고 있으며, 유입수와 유출수와의 온도차이 또한 A타입이 1.3458℃, B타입이 1.3555℃로 큰 차이를 보이고 있지 않다(그림8). 이는 기존의 방식인 A타입을 유지보수가 용이한 B타입으로 시공했을시 효율적인 면에서는 크게 차이가 없는 것으로 나타났다.



[그림 3-44] 대표 경우 type a(왼쪽 열)와 type b(오른쪽 열)에 대한 (a), (b) 1시간 후, (c), (d) 1일 후, (e), (f) 30일 후의 주변 지층에서의 지온 분포.



[그림 3-37] 대표 경우 지중열교환기 내에서의 지하수의 온도 변화 : (a) type a, (b) type b.



[그림 3-45] 대표 경우 유입수(inflow)와 유출수(outflow)의 시간에 따른 온도 변화 : (a) type a, (b) type b.

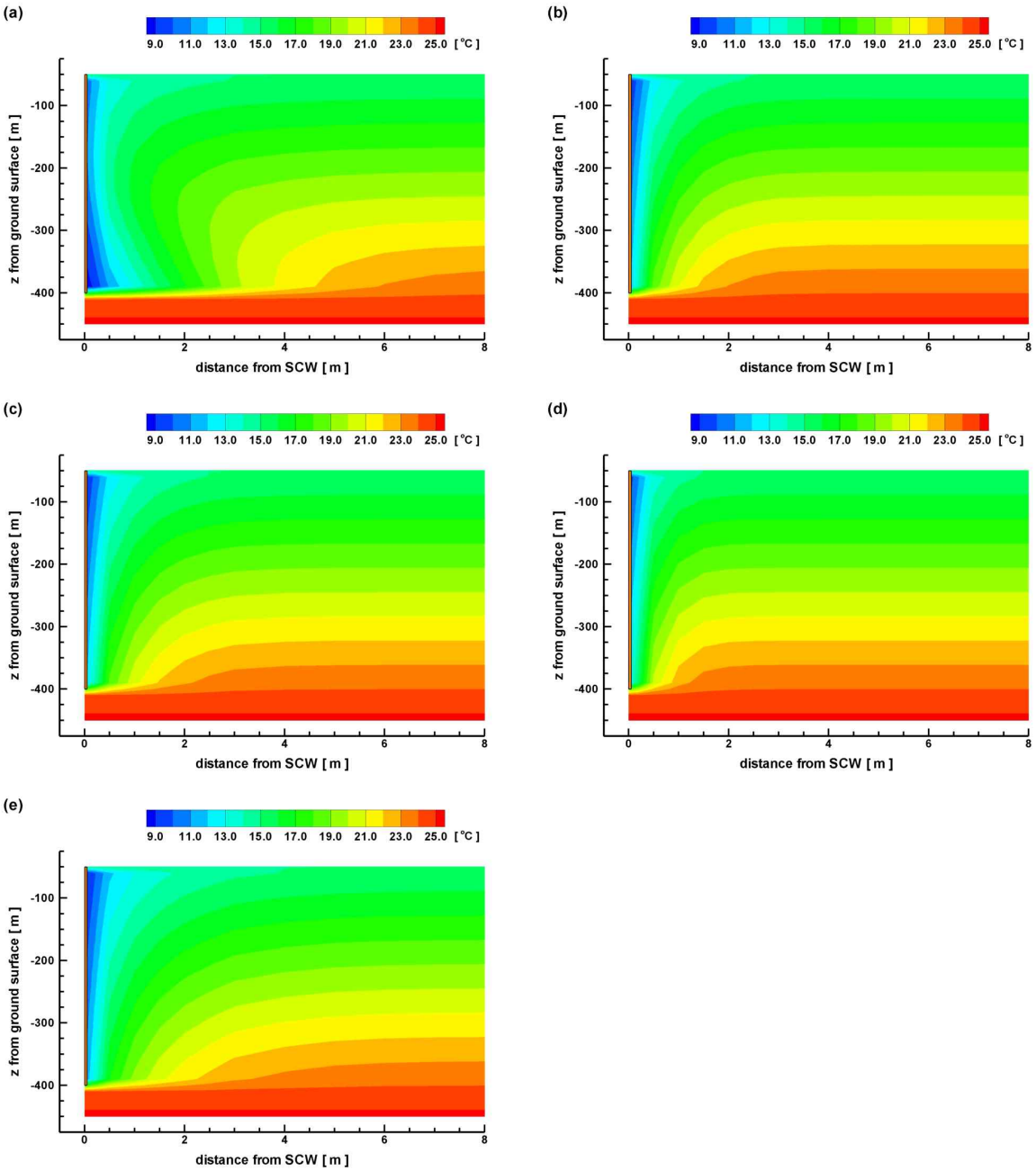
마. 주변 지층의 고유투수계수(Case A)에 대한 민감도 분석

○ 주변 지층의 고유투수계수에 따른 주변 대수층의 온도 영향과 유입수 유출수의 온도 변화를 살펴보기 위하여 민감도 분석을 실시하였다.

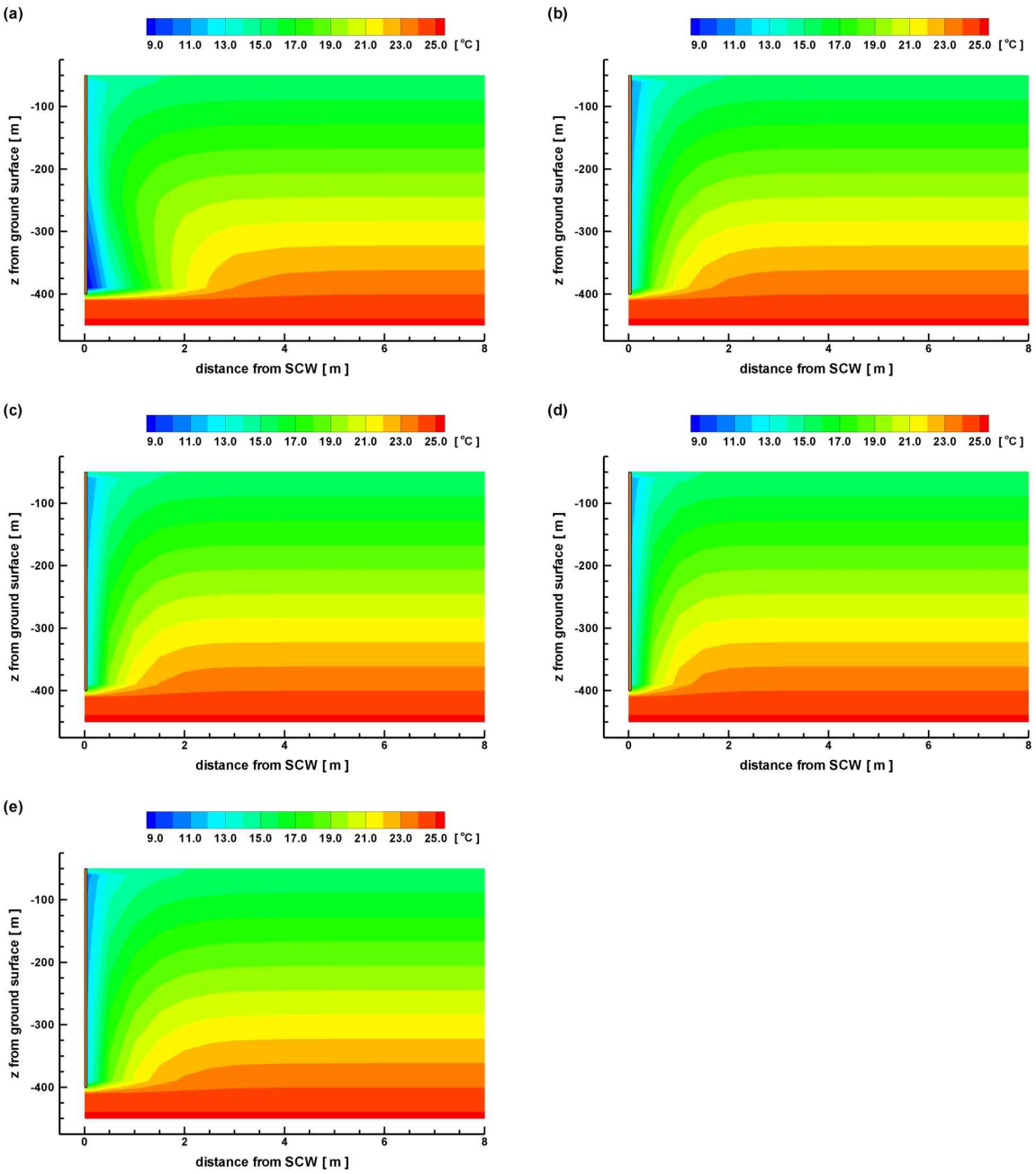
○ 분석 결과 고유투수계수가 높을수록 영향을 받는 영향반경은 A타입, B타입 모두 증가하는 것으로 조사되었고, 그림 와 마찬가지로 A타입의 지중열교환기 상부온도가 B타입보다 낮은 것으로 나타났다[그림 3-39].

○ 주변 지층의 고유투수계수에 따른 유입/유출수의 온도차이를 타입별로 계산하였

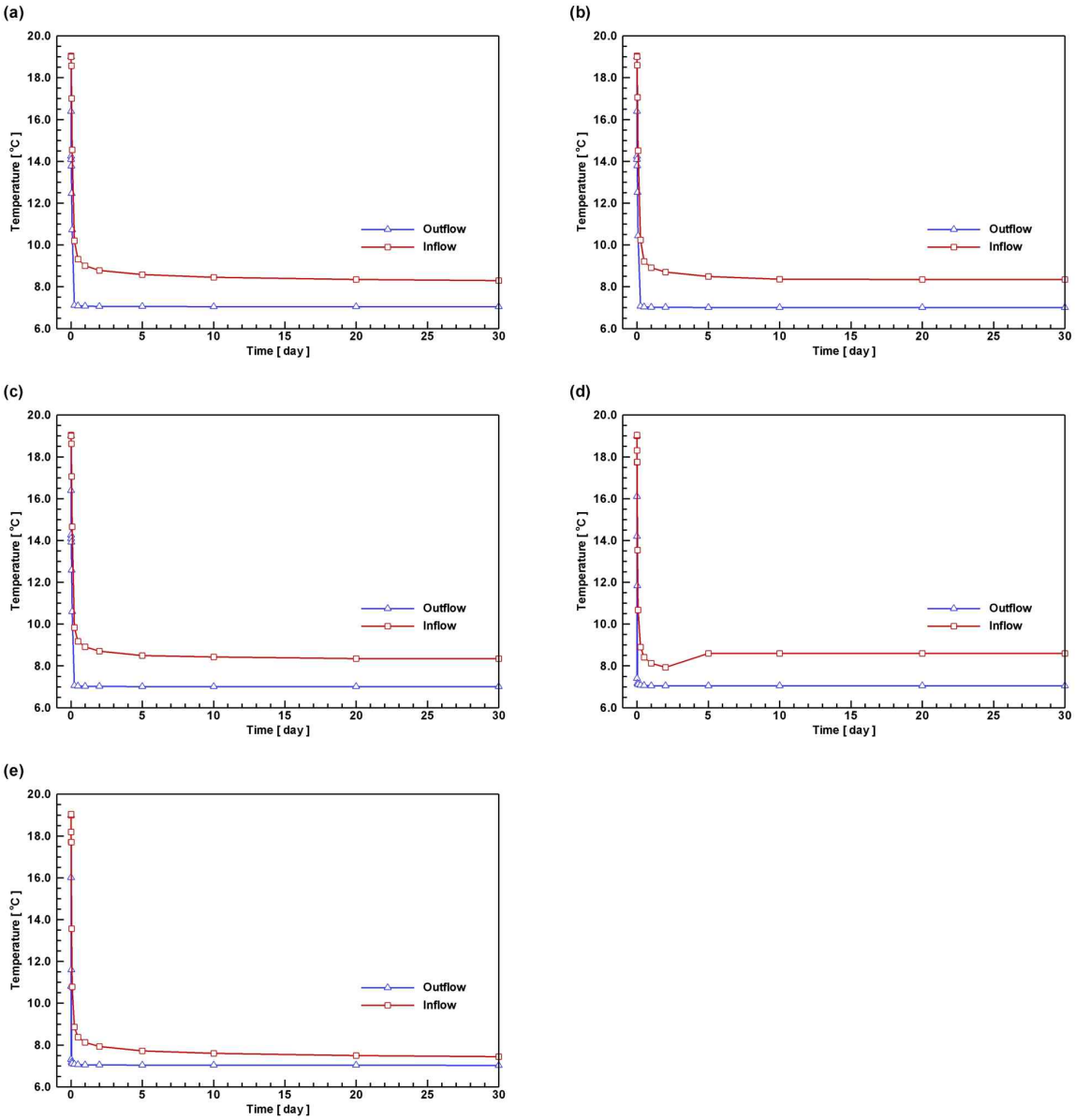
다. 그 결과 기존방식인 A타입은 고유투수계수가 감소할수록 온도차이가 크게 발생하는 것으로 나타났고, B타입은 고유투수계수가 증가할수록 온도차이가 크게 발생하는 것으로 나타났다(표 2, 그림 11-12). 하지만 기본적으로 두가의 타입의 온도차이의 민감도가 크지 않기 때문에 이 결과로만으로는 효율적인 면에서 큰 차이가 없는 것으로 판단된다.



[그림 3-46] type a에 대한 30일 후 주변 지층에서의 지온 분포 : (a) Case A-1, (b) Case A-2, (c) Case A-3, (d) Case A-4, (e) Case A-5.



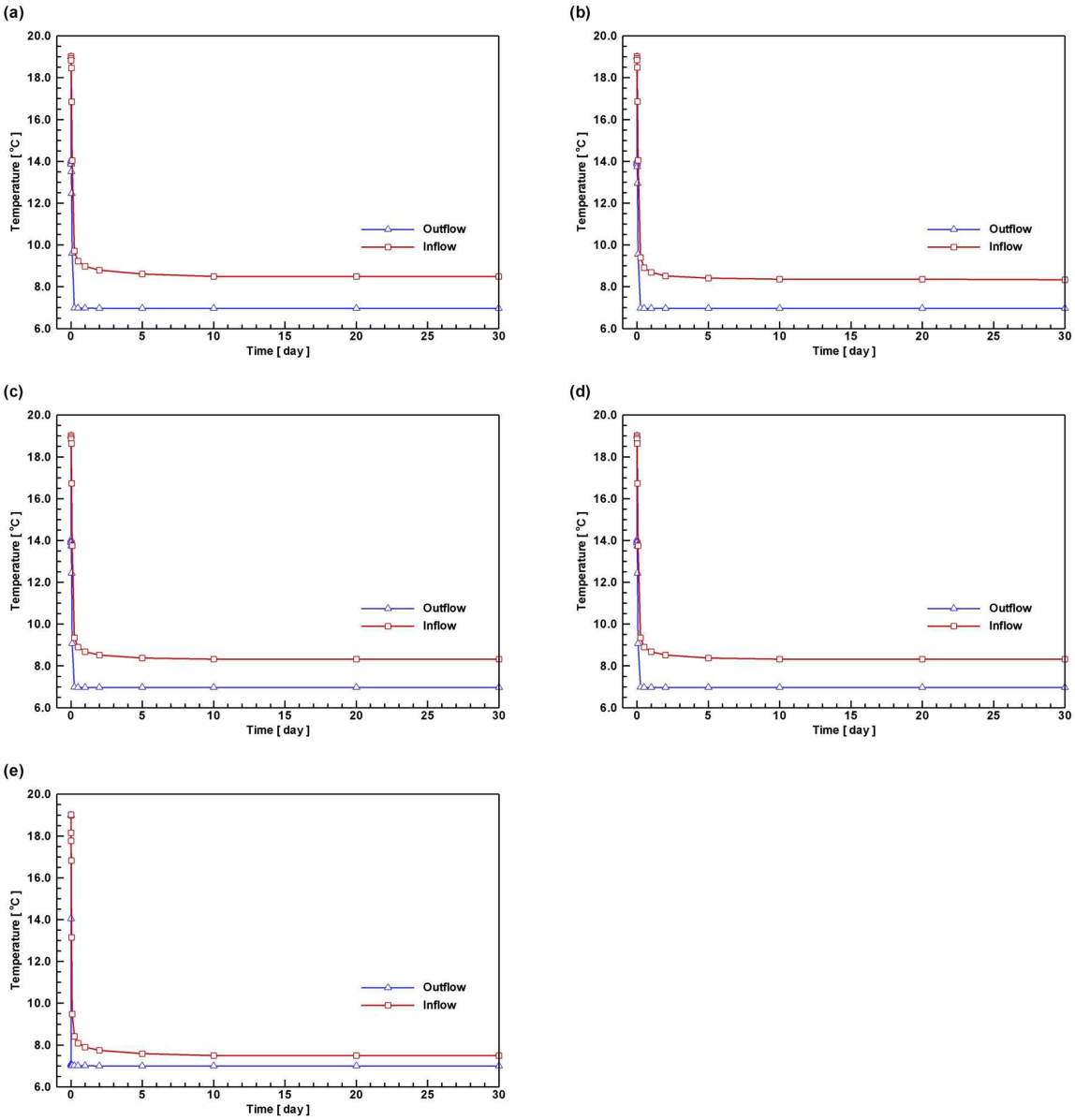
[그림 3-47] type b에 대한 30일 후 주변 지층에서의 지온 분포 :
(a) Case A-1, (b) Case A-2, (c) Case A-3, (d) Case A-4, (e) Case A-5.



[그림 3-48] type a에 대한 유입수(inflow)와 유출수(outflow)의 시간에 따른 온도 변화 : (a) Case A-1, (b) Case A-2, (c) Case A-3, (d) Case A-4, (e) Case A-5.

[표 3-10]. 고유투수계수에 따른 유입수(inflow)와 유출수(outflow)의 온도차이.

구 분	고유투수 계수 (m2)	TypeA			TypeB		
		Out Temp. (℃)	In Temp. (℃)	△T (℃)	Out Temp. (℃)	In Temp. (℃)	△T (℃)
CaseA	1.0×10^{-12}	7.0466	8.2985	1.2519	6.9711	8.4902	1.5191
	1.0×10^{-14}	7.0072	8.3436	1.3364	6.97	8.3297	1.3597
	1.0×10^{-16}	7.0072	8.353	1.3458	6.971	8.3265	1.3555
	1.0×10^{-18}	7.0457	8.6015	1.5558	6.9701	8.3265	1.3564
	1.0×10^{-20}	7.0278	7.4428	0.415	7.0011	7.4929	0.4918



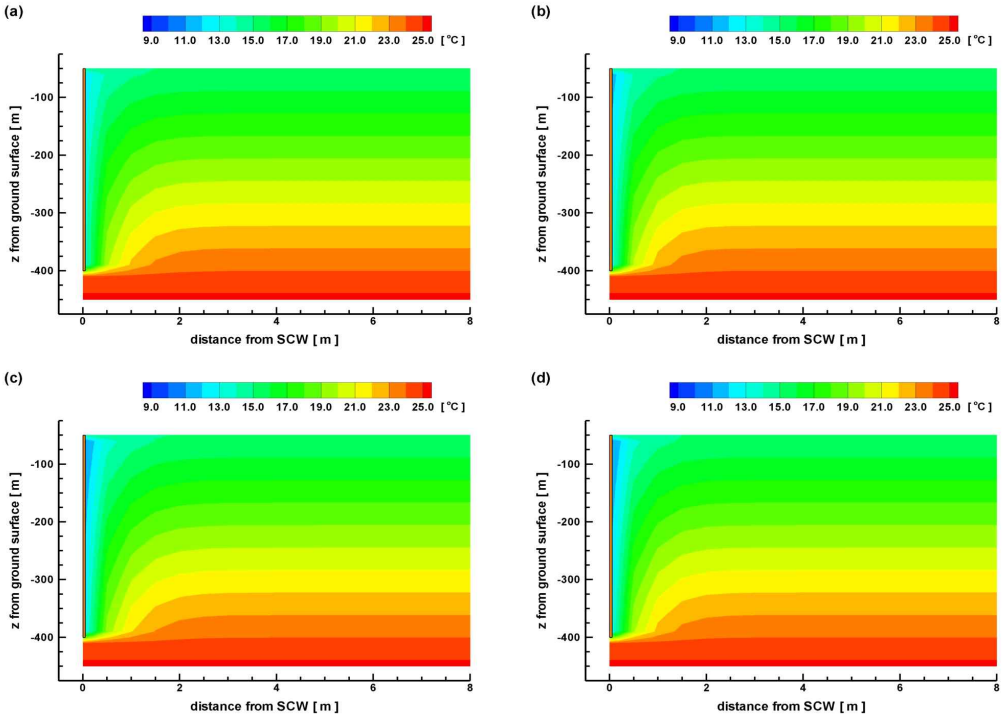
[그림 3-49] type b에 대한 유입수(inflow)와 유출수(outflow)의 시간에 따른 온도 변화 : (a) Case A-1, (b) Case A-2, (c) Case A-3, (d) Case A-4, (e) Case A-5.

바. 유입수 및 유출수의 시간당 출입량(Case B)에 대한 민감도 분석

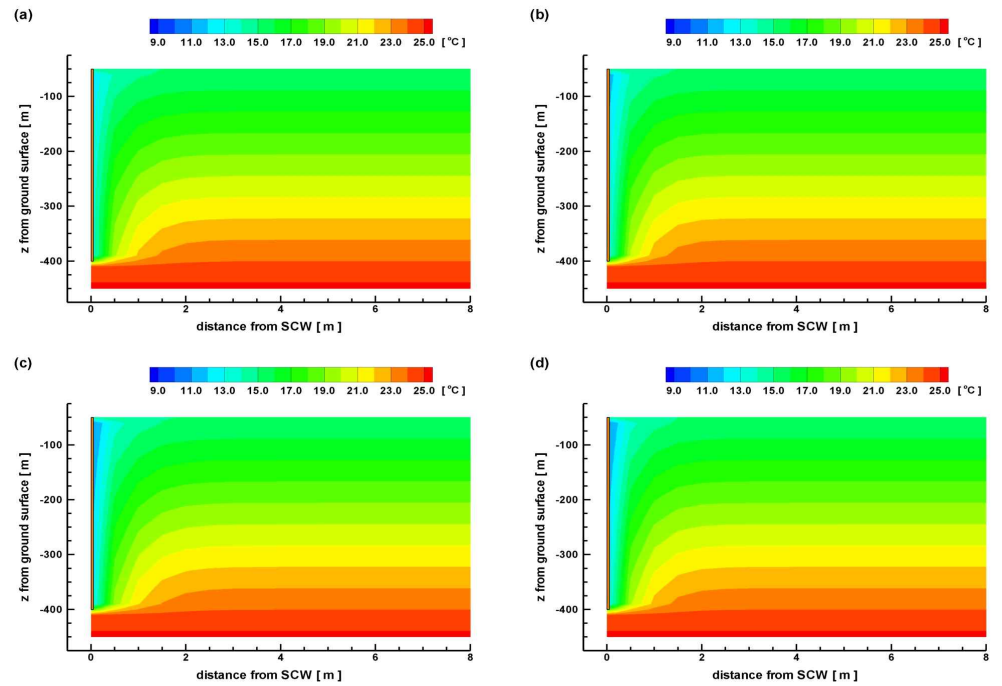
○ 다음으로는 유입/유출수의 시간당 출입량의 변화에 대한 각 타입에 따른 민감도 분석을 실시하였다. 분석결과 A타입, B타입 모두 수량이 증가할수록 주변 대수층에 미치는 영향범위는 증가하지만 양에 비례해서 증가하지는 않았다(그림 13-14).

○ 유입/유출수의 시간당 출입량에 따른 유입/유출수의 온도차이를 타입별로 계산하였다. 그 결과 기존방식인 A타입, B타입 모두 양수량이 증가할수록 온도차이가

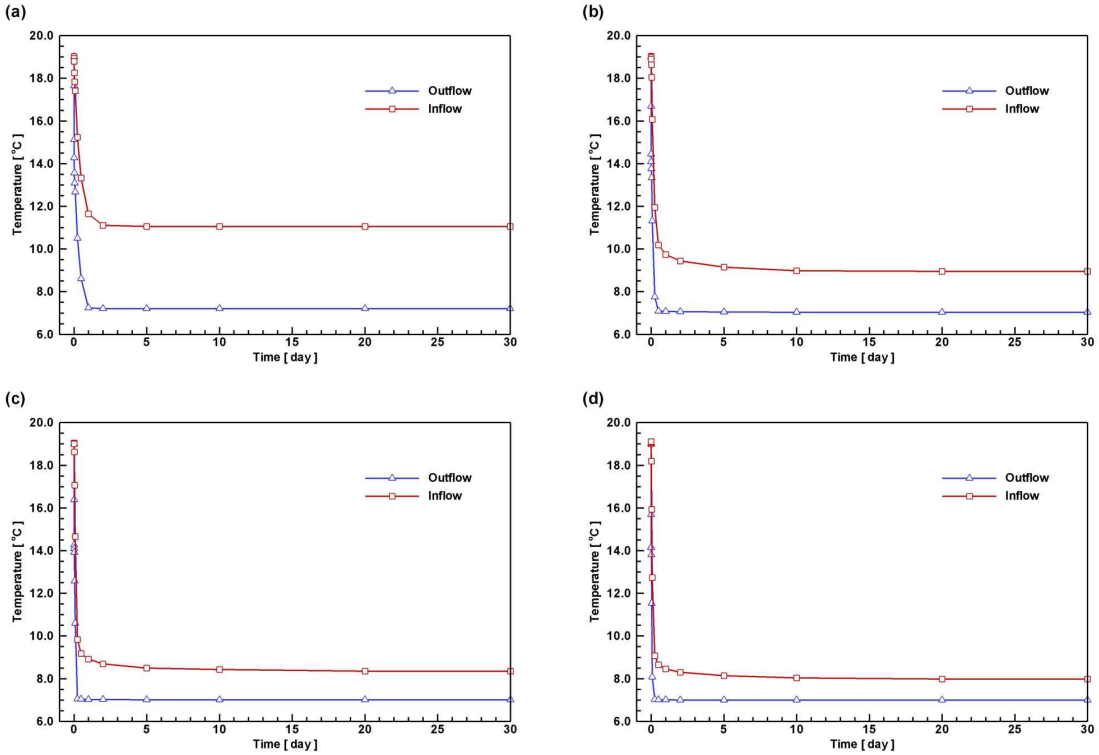
작게 발생하는 것으로 나타났고, 100톤/일을 제외한 나머지는 B타입의 온도차가 더 큰 것으로 나타났다. 하지만 고유투수계수와 마찬가지로 두 가지 타입의 온도차가 크지 않기 때문에 어느 타입의 효율이 더 좋다고 판단하기에는 어려움이 있다(표 3, 그림 15-16).



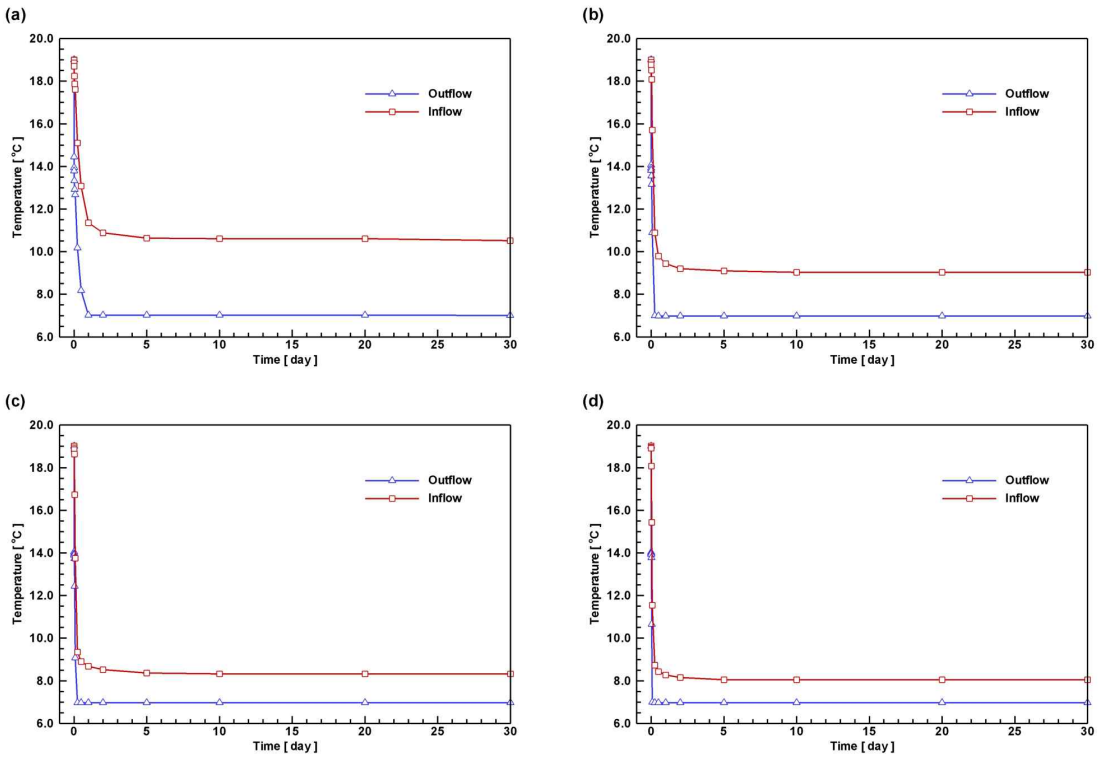
[그림 3-50] type a에 대한 30일 후 주변 지층에서의 지온 분포 : (a) Case B-1, (b) Case B-2, (c) Case B-3, (d) Case B-4.



[그림 3-51] type b에 대한 30일 후 주변 지층에서의 지온 분포 : (a) Case B-1, (b) Case B-2, (c) Case B-3, (d) Case B-4.



[그림 3-52] type a에 대한 유입수(inflow)와 유출수(outflow)의 시간에 따른 온도 변화 : (a) Case B-1, (b) Case B-2, (c) Case B-3, (d) Case B-4.



[그림 3-53. type b에 대한 유입수(inflow)와 유출수(outflow)의 시간에 따른 온도 변화 : (a) Case B-1, (b) Case B-2, (c) Case B-3, (d) Case B-4.

[표 3-11] 유입수(inflow)와 유출수(outflow)의 수량에 따른 온도차이.

구 분	유입/유출 수량 (톤/일)	TypeA			TypeB		
		Out Temp. (℃)	In Temp. (℃)	△T (℃)	Out Temp. (℃)	In Temp. (℃)	△T (℃)
CaseA	100	7.2033	11.06	3.8567	7.0133	10.515	3.5017
	200	7.0388	8.9538	1.915	6.9784	9.0324	2.054
	300	7.0072	8.353	1.3458	6.971	8.3265	1.3555
	400	6.9925	7.9863	0.9938	6.9673	8.0425	1.0752

제4절 개방형지중열교환기의 시방서

1. 히트펌프의 제작 및 설치공사

(1) 적용 범위

○ 본 시방은 히트펌프 제작 설치 및 시운전에 대하여 적용한다.

(2) 공급 범위

○ 히트펌프 본체 (제어반 포함) : 모든 구성품을 일체형(케이싱)으로 제작하며 냉동기 검사(공인기관) 후 납품하여야한다.

○ 냉 매 : 일정량 충진 후 출고하여야 한다.

○ 냉동유 : 일정량 충진 후 출고하여야 한다.

○ 단 열 : 증발기, 응축기, 냉매배관 및 기타 본체에 단열이 필요하다고 판단되는 부위는 단열을 하여야 한다. 단열재는 난연성 발포고무 보온재로써 두께는 증발기, 응축기 20mm기타 냉매배관은 15mm로 한다.

○ 누 설 시 험 : 누설시험 완료 후 납품하여야 한다

○ 방 진 패 드

○ 히트펌프 사용자매뉴얼 : 3부

(3) 시스템의 개요

○ 모든 구성품이 일체형으로 제작된 유니트로서 P.L.C 에 의한 자동운전을 기본으로 하며 사방밸브를 적용하여 냉, 난방을 전환할 수 있는 시스템으로 한다.

○ 시스템의 구성

1) 압 축 기 : 반밀폐 단단 싱글 스크류 - 1 EA
2) 열 교 환 기 : ◯ 판형증발기 - 1 EA
   ◯ 판형응축기 - 1 EA
3) 용 기 류 : 수액기 - 1EA
4) 냉 · 난방절환밸브 : 사방밸브 - 1EA
5) 냉매배관 계통 : 1 LOT

6) 제 어 반 : 1 LOT

○ 시스템의 규격
1) 형 식 : SEMI-HERMETIC SCREW HEAT PUMP
2) 성 능 : 냉.난방능력 - 도면참조
3) 냉 매 : R-22
4) 전 원 : ○ Main Power : 380V / 3상 / 60Hz
○ Control Power : 220V / 단상
5) 사용 냉(온)수 · 냉각수는 상수 및 지하수로 한다.

○ 컨트롤
1) 전기 조작반은 자동제어 시스템으로 이루어진다.
2) 시스템의 운전은 P.L.C CONTROL에 의해 자동제어 될 수 있도록 시스템을 구성하며 또한 필요시 개개의 수동조작이 가능하여야 한다.

(4) 구성부품 및 규격

○ 압 축 기
1) 압축기 형식 : SEMI- HERMETIC SCREW COMPRESSOR
2) 냉 매 : R-22
3) 용 량 제 어 : 스텝방식 (100-70-40-12% / 100-75-50%)
4) 모 터 전 원 : 3상, 2극, Squirrel Cage
5) 모터 기동방식 : Y - △
6) 모터 주파수 : 60 Hz
7) 모 터 전 압 : 380 V
8) 보호장치 : 모터권선온도개폐기, 토출온도개폐기

○ 냉 · 난방열교환기
1) 형 식 : Plate Type (Brazing)
2) 재 질 : SUS316
3) 단 열 : 난연성 발포고무 보온재 20T

○ 지열 · 열교환기
1) 형 식 : Plate Type (Brazing)
2) 재 질 : SUS316
3) 단 열 : 난연성 발포고무 보온재 20T

○ 각종 압력용기류는 공인검사기관에 의한 소정의 검사에 합격한 것이어야 하며 공인검사 기관의 검사를 받지 않은 용기라 할지라도 용기는 감독원의 입회 하에 시험 압력에 따른 검사를 받는다.

○ 내압시험을 수압으로 실시하는 경우에는 시험이 끝난 후 용기내에 수분이 완전히 제거 되었음을 확인한 후가 아니면 배관을 연결하여서는 안 된다.
○ 각종 시험에 합격한 용기는 모든 구멍을 마개로 막고 대기압 이상의 질소 또는 냉매를 충진하여 감독원의 지시에 따라 공사 현장에 반입한다.

○ 각종용기 중에서 감독원이 필요하다고 지적하는 용기에 대하여는 공인검사기관의 검사 합격 여부에도 불구하고 비파괴 시험을 실시하여 용접 부위의 결함 여부를 확인하여야 한다.
○ 모든 검사에 합격된 용기는 2회 이상의 방청 도장을 실시하고 보온하지 않은 용기는 방청도장 2회 위에 지정색 2회 이상의 마감 도장을 실시한다.
○ 각종 용기의 두께는 제작사 사양에 따라 제규정에 적합하도록 선정하여야 한다.

(5) 컨트롤 판넬

○ 사 양
1) 사용전원 : 3상 4선식 380V 60Hz
2) 재 질 : 일반
3) 전원 인입 및 인출 : 인입 – 케이블, 인출 -케이블
4) 조 작 : 터치판넬
○ 제어반 제작에 있어서 현장의 마무리, 위치변경이나 간단한 배선변경 등 감독관이 경미한 변경이라고 인정하는 사항에 있어서는 감독관의 지시에 의하여 제작 또는 설치하여야 한다.
○ 중간검사는 제작기간 수시로 행할 수 있으며 감독관이 지적한 사항은 즉시 수정하여야 하며 각 기기의 제작 조정이 완료되면 감독관이 입회하에 외간 및 구조검사 SEQUENCE시험 절연저항 시험을 시행하여야 한다.
○ 기기 및 재료 기재의 사용은 한국공업규격품(KS)을 사용하고 KS품이 없는 기재는 시중 최고품을 사용하며 감독관의 승인을 득한 후 사용하고 전기용품 안전관리의 적용을 받은 것은 형식승인을 득한 것으로 사용한다.
○ 운반 및 납품
1) 모든 제작품은 단위별로 완전 조립상태에서 운반하여 납품 설치하는 것을 원칙으로 한다. 단, 완전조립상태로 납품이 불가능할 시는 분해하여 운반 후 제작자 책임으로 재조립 하여야한다.
2) 모든 제작품은 감독관이 지정하는 장소에 납품 설치하여야 한다. 단, 공기에 맞추어 분납할 수 있으나 사전에 감독관의 승인을 받아야 한다.

(6) 안전장치

○ 고압개폐기(HP) : 고압압력이 설정치 이상이 될 경우 압축기를 정지한다.

○ 저압개폐기(LP) : 저압압력이 설정치 이하가 될 경우 압축기를 정지한다.

○ 안전밸브 : 고압압력이 설정치를 초과할 경우 냉매를 외부로 방출한다.

○ 동파방지 TIC : 냉수 온도가 설정치 이하로 내려갈 경우 동파방지를 위해 압축기 정지한다.

○ 플로스위치 : 순환수의 흐름에 이상이 있을 시 압축기를 정지한다.

○ 과전류계전기 : 압축기 모터의 부하가 상승하여 과전류가 흐를 경우 압축기를 정지한다.

○ 토출온도 개폐기 : 압축기 토출가스의 온도가 설정치 이상이 될 경우 압축기를 정지한다.

○ 모터권선 온도개폐기 : 압축기 모터의 과열을 방지하기 위하여 설정치 이상일 경우 압축기를 정지한다.

○ 역상 감지기 : 압축기의 역회전을 방지하기 위하여 전원의 상이 바뀌었을 때 작동한다.

2. 2ND 열교환기의 제작 및 설치공사

(1) 적용범위

○ 본 시방은 2ND열교환기 제작 설치에 대하여 적용한다.

(2) 전열판

○ 세척이 용이한 구조로 전열판 수량은 홀수로 설치하여야 한다.
○ PLATE는 CARRYING BAR와 GUIDING BAR에 의해 전·후 방향으로 쉽게 이동될 수 있도록 제작한다.
○ PLATE는 STS 316(혹은 동등이상의 재질)으로 제작되어야 한다.

(3) 외판

○ 외판은 고정판(FRAME PLATE)과 이동판(PRESSURE PLATE)으로 구성되며 모든 연결구는 고정판에 설치한다. 외판의 재질은 탄소강으로 제작한다.
○ 이동판(PRESSURE PLATE)은 전후방향으로 쉽게 이동할 수 있는 구조로 제작하여야 한다.
○ 외판의 표면처리 및 도장은 Shot Blasting → 하도도장(Wash Primer) → 상도도장(Epoxy)의 공정을 따른다.

(4) 안내봉(CARRING & GUIDING BAR)

○ 안내봉은 상하부봉으로 구성하며 분해조립이 용이하도록 고정판과 기둥에 SCREW로 체결한다.

○ 안내봉의 재질은 탄소강으로 하고 녹발생 방지처리(아연도금 또는 PAINTNG)를 한다.

(5) 체결볼트 및 너트

○ 녹발생 방지를 위해 전기아연도금을 하여야 한다.

○ 체결볼트의 머리는 공회전 방지용 핀이 부착된 캡너트를 사용하고, 조임너트는 나사산을 보호하고 조임토크를 높일 수 있는 롱너트를 사용한다.

(6) GASKET

○ 가스켓은 열판사이에 접촉면을 형성하며 설치가 용이하며, 보수후 재사용할 수 있어야 한다. 재질은 NBR 또는 동등이상의 재질이어야 한다.

○ 누설이 생길 경우 외부에서 확인이 가능한 구조로 한다.

3. 펌프의 제작 및 설치공사

(1) 적용범위

○ 본 시방은 인라인펌프 제작에 대하여 적용한다.

(2) 펌프의 재질

명 칭	재 질	비 고
케 이 싱	GC 250	
케이싱링	BC 6	
임 펠 러	BC 6	
주 축	STS 304	
카 플 링	SM 45C	

○ 각 부의 사용되는 재질은 다음 표와 같다

○ 케이싱
- 펌프 본체는 내외면이 매끄럽고 유해한 블로우 홀 균열 및 편육 등의 결점이 없어야 한다.
- 펌프의 설치 및 배관 작업이 용이하고, 흡입 및 토출구가 동일선상에 있는 인라인형으로 구성되어야 한다.
- 펌프의 수리 및 교체시 배관으로부터 펌프 하우징의 분리없이 수리 및 교체가 이루어져야 한다.
- 누수방지에 용이한 메커니컬시일을 사용하고 유지보수가 용이하여야 한다.

○ 임펠러
- 임펠러는 키를 이용하여 축동력을 전달할 수 있도록 되어 있고, 스프링와셔와 내부식성 황동 돔너트 또는 스텐레스 너트로 고정되어야 한다.
- 역학적인 유동을 고려하여 물과의 마찰을 최소화한 임펠러이어야 한다.
- 임펠러는 모터의 일체형 장축에 직접 조립되어야 한다.
- 임펠러는 사용 용도에 따라 재질을 바꿀 수 있어야 한다.

○ 주축
- 모터와 펌프의 축이 일체형이어야 하며, 이 축에 임펠러와 메커니컬시일이 직접 설치될 수 있는 공간이 확보되어야 한다.

○ 카프링
1) 모타주축과 펌프축에는 Set Screw 를 고정할 수 있도록 홈을 가공한다.
2) 카프링과 주축에는 동력이 전달될 수 있도록 키홈을 가공하여야 하며 축방향 이동은 Set Screw 로 확실히 고정시킨다.

○ 기타부분
1) 펌프의 회전방향은 전동기 측에서 보아 시계 방향으로 한다.
2) 주축너트는 회전방향과 반대로 조여지게 한다.
3) 임펠러와 카프링은 주축에 견고하게 결부시킨다.

4. 모터

▣ 표준사양

(1) IEC 규정에 준한 성능과 제작형태의 전동기를 사용한다.
(2) 회전수 : 3450. 1750. 1150 rpm
(3) 절연계급 : B종
(4) 보호형식 : IP 44

(5) 주위온도 : 40 ℃ (104 °F)
(6) 표준전압 : 220/380, 380V
(7) 전동기 기동방식

전 압	전동기 용량 (kW)	전동기 형식	기동 방식
220 / 380	0.4 - 7.5	농형(밀폐형)외선형	직입 기동
380	11 이 상	농형(밀폐형)외선형	Y-△ 기동

5. 개방형 지중열교환기 설치

(1) 적용범위

○ 본 시방은 지중열교환기 설치 및 시운전에 대하여 적용한다.

(2) 착정천공

○ 착정구경은 토사층과 풍화대 등의 비고결층은 구경 D300㎜~D200mm, 암반층은 구경 D165㎜로 굴진하되, 스테빌라이져 등을 사용하여 공이 수직이 되도록 하여야 한다.

○ 열전달 매체로서 지하수를 이용한다.

○ 천공자는 우물, 펌프 및 파이프 시스템을 지하수법에 의해 승인된 방법으로 설치한다. 이 과정동안 우물은 항상 청결한 상태가 유지되도록 한다.

(3) 지하수의 보호시설

○ 작정천공된 부분의 보호를 위하여 상부에 크린캡을 설치한다.

○ 지표수의 유입을 방지하기 위하여 암반층이 시작되는 지점까지 그라우팅을 한다.

(4) 외부케이싱

○ 우물은 암반층까지 케이싱으로 밀폐되어야 한다.

○ 외부케이싱은 D200mm 백강관으로 한다.

(5) 수중펌프

○ 양정 및 유량에 적합한 수중펌프를 선택해야 한다.

○ 수중펌프는 자연 수위를 기준으로 선정하여야 한다.

○ 수중펌프의 전원은 3φ 380V을 사용하며, 전기 배선은 배관과 함께 우물로 들어간다.

○ 수중펌프의 전선은 수중케이블을 사용한다.

(6) 배관

○ 매설되는 공급 및 환수 배관은 KSM 3408 수도용 폴리에틸렌(HDPE)관을 사용한다.

○ 각 우물내 공급 배관은 50A로 한다.

○ 모든 지중 배관은 연결부위가 없어야 하지만, 연결할 부위가 있다면 소켓 방법으로 연결한다.

○ 지중 매설배관의 상단에는 표식테이프를 설치하여야 한다.

(7) 신고

○ 우물의 설치를 지자체에 신고한다.

○ 우물의 설치는 지하수법에 의해 설치한다.

(8) 수질검사

○ 음용수로의 수질 검사는 우물이 깨끗해지고 충분한 유량이 유출될 때 검사한다.

○ 시험결과는 감독관에게 통보한다.

6. 기계실 배관공사

(1) 일반사항

○ 배관의 재질은 이음매 없는 인탈산동관(L-TYPE)을 사용한다.

○ 배관작업을 철저히 하지 않으면 히트펌프 운전에 지장을 주며 소음발생, 보수, 서비스 곤란 등의 문제가 발생한다. 배관 작업시는 다음 사항에 유의해야 한다.

○ 배관 시공에 앞서 타 설비의 관류 및 기기와의 관련사항을 상세히 검토하고 기울기를 고려하여 그 위치를 정확히 결정한다. 공사의 진행에 따르는 관 지지철물의 부착, 고정 및 관스리브의 매입은 지체없이 하여야 한다.

○ 관은 접합 전에 그 내부를 점검하고 이물질이 없는지 확인한 후에 접합한다.

○ 방화구획 등을 관통하는 관은 그 틈새를 불연재료 충진 시킨다.

○ 관은 직각으로 절단하여야 하며 절단할 때 관경이 축소되거나 도금 또는 도복장재의 칠이 벗겨지는 절단기기 및 공구를 사용해서는 안 된다.

○ 관을 절단 후 반드시 절단부위 내부를 매끈하게 가공하며 절대로 관경이 축소되지 않게 한다.

○ 일시 배관 공사를 중단할 때에는 배관 끝을 플러그 및 캡 등으로 완전히 폐쇄하고 이물질이 들어가지 않도록 한다.

○ 신축이음쇠를 설치한 배관에는 그 신축부분을 기점으로 유효한 곳에 고정철물을 설치한다.

○ 기기 주위의 배관은 기기의 조작, 보수 등의 여유를 확보함과 동시에 필요한 장소에 배관분리용 플랜지등을 설치한다.

○ 재질이 다른 금속배관이나 기기와 배관의 연결부위에는 부식방지용 절연 이음쇠를 설치한다.

○ 수직관 아래부분 기타 각종장치와 연결되는 최하부에는 20mm이상의 배수밸브를 설치하여야한다. 단 주관 관경이 20mm이하일 때에는 주관 관경으로 한다.

○ 동관의 이음은 용접이음을 원칙으로 한다.

(2) 보온

배관의 보온은 비닐필름+발포폴리에틸렌보온재 40T+매직테이프+알루미늄밴드로 한다.

(3) 도장공사

가대등의 도장은 녹막이페인트2회칠 후 조합페인트 2회칠을 한다.

(4) 밸브류

○ 밸브류는 압력10Kg.f/cm2 것을 사용하고, 구경 50A 이하는 청동제 볼밸브, 65A이상은 BUTTERFLY 밸브를 사용한다.

○ 체크밸브중 구경 50A 이상의 것은 헤머레스형이어야 한다.

○ 공기빼기밸브 KS B 2340 (수도용 공기밸브)에 합격한 제품 또는 동등이상의 제품으로써 공기를 배제하는 기능을 가지고, 몸체는 황동제로써 첵크밸브가 내장되어야 한다.

○ 스트레이너 구경 50 mm 이하는 주철제 또는 청동제의 Y형으로서 나사형이고, 구경 65 mm 이상은 주철제의 Y형 또는 U형으로써 플랜지형으로 한다.

○ 소제구용 플러그는 황동제이고, 스트레이너부는 스테인레스 강제로 충분한 유효면적을 확보하되 스크린규격은 100메쉬 이상으로 한다.

(5) 지지금물

○ 인서어트금물

– 주철제 및 가단주철제로 하고 관의 지지에 충분한 강도를 가지며, 행거등의 연결에 편리한 구조의 것으로 한다.

○ 행거금물

– 관경에 적합한 고무절연의 아연도철제품으로 하고, 관내용물 및 피복의 전중량을 지지하여야 한다.

○ 관고정금물

– 관경에 적합한 철제품으로 하고, 배관의 신축에 따라 생기는 응력에 대하여 관이 어떤 방향으로도 움직이지 않는 강도를 가진 구조의 것으로 한다.

○ 공통지지금물

– 다수의 배관이 병렬로 놓여 있을 때에는 적합한 형강제품으로 하고, 관 내용물 및 피복의 전중량을 지지하며, 지지간격에 따라 충분한 강도를 가진 구조로 한다.

○ 방진지지금물

– 진동전달을 방지할 필요가 있는 곳에는 HANGING 금물 및 지지금물에 방진 GUM 등을 매개시킨 충분한 방진성과 강도를 갖는 것이어야 한다.

(6) 압력계, 온도계 설치

○ 다음 각호의 기기 및 배관 등에는 운전상태를 확인할 수 있는 온도계 및 압력계를 설치한다.

1) 열교환기의 입출구 배관 : 압력계 및 온도계
2) 펌프의 입출구 배관 : 압력계
3) 지열히트펌프의 입출구 배관 : 압력계 및 온도계

○ 온도계 및 압력계의 설치규격은 다음과 같다.

1) 온도계 및 압력계의 측정범위는 설계조건의 1.5배이내 이어야 한다.
2) 온도계는 보호용 설치구(Thermo-Well 또는 Sensorpocket)안에 설치한다.
3) 압력계의 도압관에는 차단밸브를 설치한다.
4) 압력계는 계측이 쉬운 구조이어야 한다.
5) 온도계 및 압력계 지시부의 크기는 100mm이상이여야 한다.
6) 온도계는 바이메탈식의 계측이 쉬운 구조로 감온부가 배관내 1/2이상 삽입되어야 한다.

(7) 벽, 바닥 및 지붕의 관통

○ SLEEVE

벽, 바닥등을 관통하는 배관을 위한 관통부에는 4각 및 원형 슬리브를 설치한다. 4각 슬리브는 목재로 하고, 원형슬리브는 아연도강관이나 1.6 m/m이상의 아연도철판제 원통 또는동등이상의 강도 및 내식성을 갖는 것으로 한다. 원형 및 각형 슬리브를 설치하는 경우는 CONCRETE 타설시에 이동변형이 되지않도록 슬리브 형태 및 촌수에 따라 충분히 보강을 하여야 한다. 방수층 및 기밀이 필요한 바닥, 기둥, 내진벽 및 외벽등의 관통부분은 각 부분에 적응한 슬리브를 사용한다.

1) 방수층 관통부는 방수층에 잘 밀착되는 구조로 날개부착 슬리브를 설치한다.
2) 수세가 필요한 바닥의 관통부 SLEEVE의 상단을 바닥 마감면보다 30 mm 이상으로 하여야 한다.
3) 기둥,내진벽 및 외벽 관통부는 구조체의 강도에 지장을 주지 않는 형태 및 촌수로 한다.

○ 관 관통 개소의 틈새

보이는 부분 소음방지를 필요로 하는 곳 및 건축법 및 소방법에 의한 방화구획 등에는 법규에 적합한 불연재를 충진한다. 관의 신축을 고려할 필요가 있는 경우는 충분히 주의하여 충진하고, 인근 구조체마감과 상응하는 마감처리를 하여야 한다.

○ 외벽 및 지붕등의 관통

지하수 및 우수등의 침입을 완전히 방지하기 위해 COALTAR, ASPHALT, COMPOUND, 연기지의 수밀성이 있는 재료로 세밀히 CALKING을 하여 완벽한 방수처리를 하고, 고층부와 저층부의 JOINT 부위 및 외벽의 지반침하 예상부위등의 관통배관은 FLEXIBLE 이음을 사용한다.

7. 배관의 시험

○ 각 배관의 일부 또는 전배관 완료후 수압시험을 하여야 한다. 방로 및 보온 피복을 행하는 배관, 은폐 혹은 매설되는 배관은 이것을 실시하기전에 시험을 행하여야 한다.

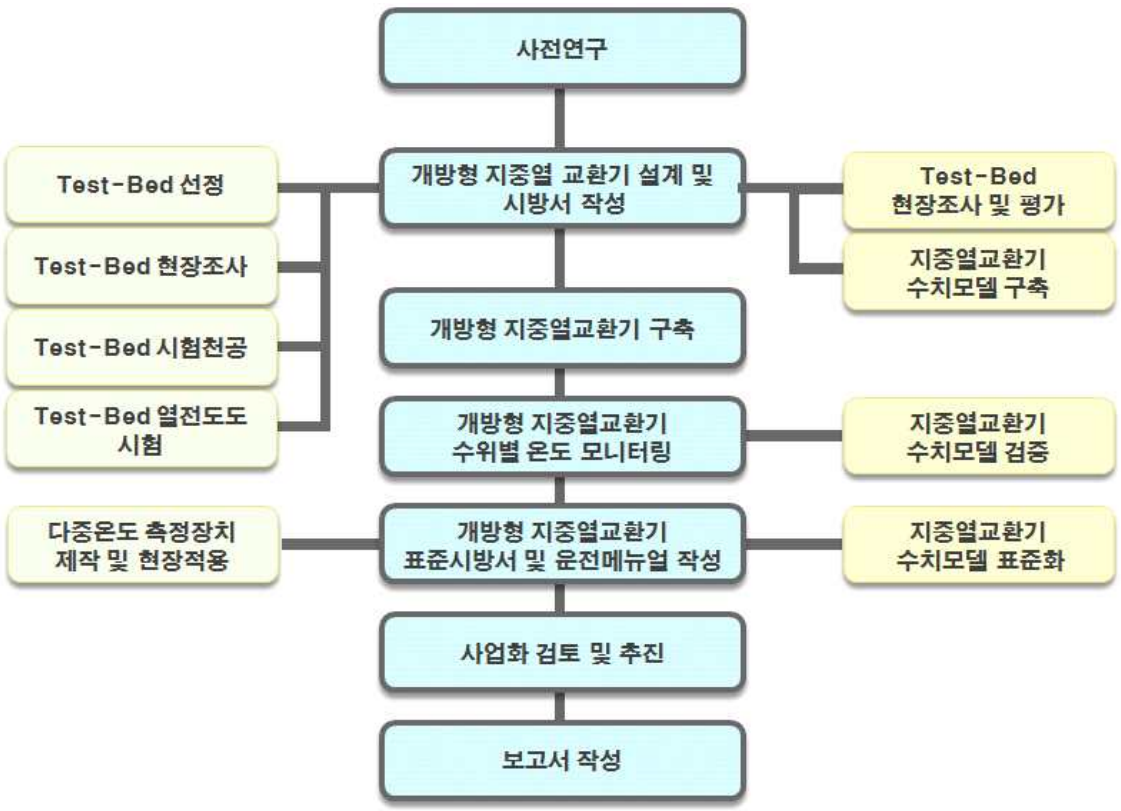
○ 배관시험의 기준치는 사용압의 2배로 한다.

제4장 연구개발목표달성도 및 관련분야에 기여도

제 1 절 연구개발 추진전략 및 방법

1. 연구개발 추진체계

구 분	주관연구기관	위탁연구기관
1차년도	• 사전연구 • Test-Bed 선정 • Test-Bed 조사 및 분석 • 열전도도 및 열용량 시험 • 개방형지중열교환기 설계 및 구축	• Test-Bed의 수리 지질 및 열물성 특성 분석 • 지하공간해석 수치 모델링 기법 구축
2차년도	• 지하공간 다중온도 측정장치 구축 및 현장적용 • 개방형 지중열교환기 표준 시방서 및 운전 매뉴얼 작성 • 사업화 검토 및 추진	• 지하공간 온도 및 수위 모니터링 자료를 이용하여 모델 검증 • 지하공간해석 수치모델 표준화



2. 연구개발 수행 진도율

구분 / 개발내용	연구개발기간(2011년~2012년) 1 (9월)	2 (10월)	3 (11월)	4 (12월)	5 (1월)	6 (2월)	7 (3월)	8 (4월)	9 (5월)	10 (6월)	11 (7월)	진도(%)
사전연구 (선행/벤치마킹/기술조사)	▬	▬	▬									100
Test-Bed 선정		▬	▬	▬	▬	▬						100
Test-Bed 조사/평가				▬	▬	▬	▬					100
시험 천공						▬	▬	▬				100
열전도도 및 열용량 시험							▬	▬	▬	▬	▬	100
개방형지중열교환기 설계 및 시방서 작성							▬	▬	▬	▬		100
개방형지중열교환기구축									▬	▬	▬	100
총 진도율	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	100

구분 / 개발내용	연구개발기간(2012년 ~2013년) 1 (8월)	2 (9월)	3 (10월)	4 (11월)	5 (12월)	6 (1월)	7 (2월)	진도 (%)
개방형 지중열교환기구축	▬	▬	▬					100
지하공간 다중온도 측정장치 구축 및 현장적용	▬	▬						100
지중열교환기 형식별 지하공간 온도 모니터링 및 생산열량 모니터링			▬	▬	▬	▬	▬	100
지하공간해석 수치모델 표준화	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬	100
개방형 지중열교환기 표준 시방서 및 운전 매뉴얼 작성				▬	▬	▬	▬	100
사업화 검토 및 추진						▬	▬	100

· · · · · · · · · · · 당초계획
———————— 실 적

3. 연구개발 목표의 달성도

목 표	달성도(%)	내 용
▪ 사전연구 - 기술개발 환경 분석	100	▪ 국내외 정책·시장·기술 동향분석 ▪ 기술수요 및 기술예측 조사 ▪ 기술개발 계획수립
▪ Test-Bed 선정	100	▪ 개방형지중열교환기 설치에 적합한 지역 검토 ▪ 지열시스템 사용목적에 따라 선정 - (주)농심아산공장
▪ Test-Bed 조사 및 평가	100	▪ Test-Bed 지중온도 변화 특성 조사 및 평가 ▪ Test-Bed 지역 구성 매질분포 및 기본물성 조사 ▪ 지하수 수질 특성분석
▪ 시험 천공 및 열전도도 측정	100	▪ 지중토양 물성치 조사 및 분석 ▪ Test-Bed의 열용량 산출
▪ 지하공간해석 및 수치 모델링 기법 구축	100	▪ 현장조사 자료 분석을 통한 Test-Bed의 개념 모델 설정 ▪ 다양한 시나리오에 따른 모델 결과 제시
▪ 개방형지중열교환기 설계 및 시방서 작성	100	▪ 기초 설계자료를 이용하여 개방형지중열교환기 설계 ▪ 개방형지중열교환기 관련 시방서 작성
▪ 개방형지중열교환기 구축	100	▪ 기존 개방형지중열교환기(SCW) 1공 구축 ▪ 개발 개방형지중열교환기 1공 구축
▪ 지하공간 다중온도 측정장치 구축 및 현장적용	100	▪ 수위에 따른 다중온도 측정장치 제작 및 현장적용(50m 단위 측정) ▪ 지중열교환기 및 관측공에 적용하여 심도별 실시간 온도 모니터링 실시
▪ 지하공간해석 수치모델 표준화	100	▪ 현장측정 온도자료를 활용한 온도변화에 따른 수치 모델 검증 ▪ 지중열교환기 장기 운전시 지하수 계절적 온도변화 예측 ▪ 수주지열정 지중열교환기(SCW 공법) 장기 운전에 따른 수주지열정 내부 및 주변 지하수 흐름 및 온도 변화 예측 및 검증
▪ 개방형 지중열교환기 표준시방서	100	▪ 개방형 지중열교환기 시공에 따른 시방서 작성
▪ 사업화 검토 및 추진	100	▪ 신기술(NET)인증을 통해서 사업화 추진 : 2013년 5월 신기술 신청 예정

4. 연구개발의 성과목표 및 실적

성과목표	성과지표		측정방법	최종 목표치	실적	가중치 (0~1)
지중열교환기의 설치시공이 간편하며 외부오염방지와 시설물 동파방지와 사후관리가 용이한 "개방형지중열교환기"개발	2-1	특허출원	특허출원 건수	2건	출원 1건 등록 1건	0.05
	6-1	테스트베드 설계·구축	지중열교환기 구축 여부	1건	1건	0.3
	6-3	테스트베드 활용	지중열교환기 테스트베드 활용 및 모니터링	1년	1년	0.2
	7-4	설계결과의 현장적용	설계결과의 현장적용 건수	1건	2건	0.025
	25-1	사업화	지중열교환기 시공공법 사업화 및 지열교환기 보호 및 유체 순환장치	1건/1건	1건	0.025
장심도 관측센서를 이용하여 심도별 수중온도 모니터링	1-2	학술회의 발표 논문	지중열교환기 온도모니터링 관련	1건	-	0.05
	5-4	시험/조사/관측 기법 현장적용	현장활용 건수	1건	1건	0.05
	5-5	시험/조사 DB 구축 및 활용	지중열교환기 온도 DB구축	1건	1건	0.05
	9-1	현장적용	수치모델링의 기초자료활용	1건	1건	0.05
수치 모델링 기법을 이용한 유지보수가 가능한 개방형지열 시스템 활용성 평가	1-2	학술회의 발표 논문	지중열교환기 온도모니터링 관련	1건	1건	0.05
	5-4	시험/조사/관측 기법 현장적용	현장활용 건수	1건	1건	0.05
	5-5	시험/조사 DB 구축 및 활용	지중열교환기 온도 DB구축	1건	1건	0.05
	9-1	현장적용	개방형지중열교환기 설계에 적용여부	1건	1건	0.05

○ 특허 출원 및 등록

- 탈부착 및 정비가 용이한 유량계가 구비된 밀폐식 지하수 지열 상부보호관
  - 등록번호 : 101164121(2012. 07. 03)
- 개방형 지중열교환기의 실시간 자동제어 시스템
  - 출원번호 : 10-20120082966(2012. 07. 30)

5. 연구개발의 성과

가. 공공적 성과

○ 개방형 지중열교환기의 설계 및 시공관련 기술개발로 국토부(구 구토해양부), 사업통상자원부(구 지식경제부)등의 지열관련 설계기준, 시방서, 지침등에 제안할 예정임.

나. 기술적 성과

○ '13년 6월 건설 신기술(NET)인증 추진 예정

○ 개방형 지중열교환기 굴착공사의 시공시간(1개공 시공 기준)

구분	기존 개방형지중열교환기 (A타입)	개발 개방형지중열교환기 (B타입)
- 지열공 굴착 공사		
부지조성 및 장비 설치	2시간	2시간
굴착공사(표토부)	1시간	1시간
굴착공사(암반부) (400m기준)	24시간	24시간
써징 및 현장정리	5시간	5시간
계	32시간(4일)	32시간(4일)

○ 개방형 지중열교환기 내부시설물의 설치시간(1개공 시공 기준)

구분	기존 개방형지중열교환기 (A타입)	개발 개방형지중열교환기 (B타입)
- 지중열교환기 내부시설물 설치 공사		
장비 설치 및 작업준비	3시간	2시간
지하수 순환시설물 설치	- 1본당 4m로 총 100본설치 - 1본당 평균 10분 내외 - 총 17시간	- 1본당 100m로 총 4본 설치 - 1본단 평균 2시간 내외 - 총 8시간
양수시설물 설치	4시간	4시간
개방형 상부보호관 설치	3시간	3시간
계	27시간(3일)	17시간(2일)

○ 개발 개방형 지중열열교환기 시공시간은 기존 개방형지중열교환기 시공과 비교하여 10시간(17%)의 시공시간을 단축하였다.

다. 경제적 성과

○ 지하수자원을 이용한 고효율 개방형 지열시스템 설치와 보급 확대 및 해외진출 가능성 확보

○ 지하수자원을 이용한 개방형 지중열교환기의 안전성•기능성 및 유지관리 효율성 확보 기술 개발은 기존의 지열전문기업, 지하수영향조사기관, 지하수정화업, 지하수개발이용 시공업 및 건축 설비분야의 활성화와 고용창출을 가시적으로 유발할 수 있을 것으로 예상됨.

○ 신재생에너지 개발 및 활용에 대한 국가적 관심이 고조되고 정책목표가 구체화되고 있는 상황에서 타 신재생에너지에 비해 경제적이며 효율적인 개방형지열시스템의 구축기술은 신재생에너지산업의 보급·확산에 기여하는 동시에 녹색성장의 동력이 될 수 있음

○ 개방형 지중열교환기 굴착공사의 시공비(1개공 시공 기준) 단위 : 천원

품 명	규 격	재료비	노무비	경비	합계	비고
지하수천공	D200*400m					
기계기구 설치	굴착기, 콘프레셔2대		230	150	380	
보링	D200*400m	9,200	8,450	5,850	23,500	
에어써징			2,500	1,000	3,500	
양수시험		130	2,600		2,730	
소 계		9,330	13.780	7,000	30,110	

※ 기존 지중열교환기와 개발 지중열교환기 동일

○ 기존 개방형 지중열교환기 지열순환시설의 시공비(1개공 시공 기준) 단위 : 천원

품명	규격	재료비	노무비	경비	합계	비고
심정용 수중 펌프	7.5HP	3,500			3,500	
수중케이블	10SQ*3C	325	470		795	
제어케이블	2.5SQ*3C	120	300		420	
내부케이싱	PVC(VG2)	4,650	3,200		7,850	
지하수양수 파이프	D50,STS	4500	800		4,550	
밀폐형상부 보호공		3,000			3000	
소 계		9,330	13.780	7,000	20,115	

○ 개발 개방형 지중열교환기 지열순환시설의 시공비(1개공 시공 기준) 단위 : 천원

품명	규격	재료비	노무비	경비	합계	비고
심정용 수중 펌프	7.5HP	3,500			3,500	
수중케이블	10SQ*3C	325	470		795	
제어케이블	2.5SQ*3C	120	300		420	
주입관	D50,HDPE	1,600	1,950		3,550	
지하수양수 파이프	D50,STS	4500	800		4,550	
밀폐형상부 보호공		3,000			3000	
소 계		9,330	13.780		15,815	

○ 개발 개방형 지중열교환기의 굴착공사비는 동일하나 지중순환시설의 시공비는 11%로 절감하였다.

6. 기술료 납부 계획

○ 본 기술개발은 개방형 지중열교환기로 지중열교환기 설계 수리지질 인자 도출, 개방형 지중열교환기 수치모델 평가, 개방열 지중열교환기의 장기 온도모니터링 및 시범사업을 통한 경제성 확보와 적용확대를 위해 추가적으로 소요되는 기간은 3년으로 예상됨.

○ 추가소요 기간을 고려하여 3년 균등납부 계획

제5장 연구개발결과의 활용계획

○ 지하수자원을 이용한 고효율 개방형 지열시스템 설치와 보급 확대 및 해외진출 가능성 확보

○ 지하수자원을 이용한 개방형 지중열교환기의 안전성•기능성 및 유지관리 효율성 확보 기술 개발은 기존의 지열전문기업, 지하수영향조사기관, 지하수정화업, 지하수개발이용 시공업 및 건축 설비분야의 활성화와 고용창출을 가시적으로 유발할 수 있을 것으로 예상됨.

○ 신재생에너지 개발 및 활용에 대한 국가적 관심이 고조되고 정책목표가 구체화되고 있는 상황에서 타 신재생에너지에 비해 경제적이며 효율적인 개방형지열시스템의 구축기술은 신재생에너지산업의 보급·확산에 기여하는 동시에 녹색성장의 동력이 될 수 있음

- 지식경제부에서 그린홈 100만호사업, 일반보급보조사업, 지방보급보조사업 전개

- 농림수산식품부에서 매년 2천억원을 투자하여 농촌지역 시설원예에너지효율화사업 전개

- 그 밖에 공공기관 신재생에너지설치 의무화사업, 신재생에너지이용 건축물인증제도 도입 시행

○ 연구결과는 (주)농심 아산공장에 적용하였으며 자동결속에 의한 지하수순환체계 구축과 순환경로의 최적화로 완성되는 개방형지중열교환기 설치시공 기술의 완성은 지중열교환기 보호 및 유체순환장치의 제품화 및 지하수순환체계 구축과 순환경로의 최적화가 완성되는 개방형지중열교환기 공법을 실용화할 수 있으며, 신기술(NET)인증을 통해서 기술의 우수성을 극대화하는 한편, 공공기관의 개방형지열시스템사업 시행 시 법률에 의한 설계우선적용 규정을 최대한 활용할 것임.

1. 기술의 사업성

가. 국내 지열냉난방 시스템의 시장규모

○ 공공부문

- 2012년 지열에너지 보급사업 예산

구분	2010	2011	2012	2013	비고
그린홈 100만호	12,200	12,000	12,000	14,000	지식경제부
일반보급보조	4,000	2,000	3,000	6,500	지식경제부
시설원예 에너지 효율화	200,000	200,000	200,000	200,000	농림수산 식품부

○ 설치시공 기술

- **공공부문 :** 220,500백만 중 40%를 개방형시스템으로 설치할 경우에 약 800억원이 개방형시스템 시장이며, 개방형시스템의 전체 공사비의 50%가 지중열교환기 설치비용이므로 **대상기술의 직접시장은 약 400억원**
- **민간부문 :** 통계적인 자료는 없으나 건물, 원예시설 등에 이어서 민간기업의 건물, 공장 등 산업시설에도 도입하는 추세

○ 제품 기술

- **공공부문 :** 800억원은 약 800개소 이상의 개방형시스템을 설치할 수 있는 예산으로 이때, 지중열교환기가 800개 개발되는 경우 : 대상기술에서의 **제품화 사업에 의한 시장은 약 32억원**(800개소x400만원/제품가격)
- 민간부문 : 중장기적으로는 민간시장이 공공부문보다 커질 것으로 예상

제6장 참고문헌

김진한, 박수영, 박정환, 김태원, 2006, 지열히트펌프 운영에 따른 지하수 환경영향 평가. 한국신재생에너지학회 2006년도 춘계학술대회논문집, 455-458.

정재형, 2007, 지열발전을 위한 지열정 굴착기법과 환경영향. 신재생에너지, 3(4), 16-21.

환경부, 2008, 지열시스템이 토양·지하수에 미치는 영향에 관한 연구. 한국지하수토양환경학회, 환경부, 240 p.

손병후, 2004, 지열원 열펌프 시스템 보급현황 및 활성화 방안. 지열이용기술연구회 운영보고서, 에너지관리공단 대체에너지개발보급센터, pp. 185-220.

신·재생에너지센터, 2008, 지열. 에너지관리공단 신·재생에너지센터 홈페이지, www.knrec.or.kr, Access at August 6, 2008.

신현준, 2004, 지열원 열펌프 시스템-관련 기술 및 적용 사례. 공공기관 대체에너지 이용의무화 제도 및 적용모듈 설명회, pp. 1-65.

신현준, 2007, 지열원 열펌프 냉난방 시스템의 기술 및 시장 현황. 2007 Geothermal Energy Symposium, IGSHPA-Korea 지열에너지 기술현황과 전망, 한국지열에너지기술지원센터, 2007년 1월 24일, 강원대학교, pp. 62-85.

에너지관리공단, 2006, 지열원 에너지 냉난방 시스템 적용사례. 설비기술, 2월호, 132-141.

에너지관리공단, 2007, 2006년 신·재생에너지 통계. 에너지관리공단 신·재생에너지센터, 경기도 용인, 169 p.

에너지관리공단, 2008, 지열시스템의 기술·시장 동향. 설비기술, 6월호, 142-145.

우정선, 2003, 지열, 지열원 열펌프. ETIS 분석지, 23, 129-142.

이종규, 2004, 지열 열펌프. 나우바투, 41 p.

이지음, 2004, 지열 냉난방 제안서: 00학교 지열열원 냉반방 시스템. 이지음(e-Jium), 2004년 5월, 28 p.

이진용, 2005, 지하 유체주입 지하수 관정의 설치 및 허가에 관한 규정: 미국 미주리주. 한국지하수토양환경학회지, 10(5), 70-76.

이진용, 구민호, 2007, 도시화가 지하수에 미치는 영향 및 도시지역 지하수 문제 고찰. 지질학회지, 43(4), 517-528.

이진용, 천정용, 이명재, 최미정, 김현중, 전선금, 문형준, 전성천, 2006, 인천기지 Pump 고장원인 조사를 위한 이물질 생성원인 분석. 초안보고서, E1, 104 p.

임효재, 2007, 지열 냉난방 기본 이론. 2007 신재생에너지 전문가 연수교육(지열과정)

강의자료, 2007년 10월 31일, 52 p..

임효재, 공형진, 송윤석, 박성구, 2006, 개방형 지열 히크펌프 시스템의 운전 특성. 대한설비공학회 2006년 하계학술발표대회 논문집, pp. 701-706.

임효재, 송윤석, 공형진, 박성구, 2004, 지열 냉난방 시스템의 성능 및 경제성 평가. 에너지공학, 13(4), 296-300.

정재형, 2007, 지열발전을 위한 지열정 굴착기법과 환경영향. 신재생에너지, 3(4), 16-21.

정하익, 2006, 지열에너지 개발과 토양 및 지하수 오염. 지열에너지저널, 2(1), 31-43.

조정식, 2006, 지중 열교환기 전열성능 향상을 위한 두채움재 조성에 관한 dsurn. 산업자원부, 최종보고서 2004-N-GE08-P-01.

중앙일보, 2006, 지열이 '대체 에너지'로 뜬다. 중앙일보 2006년 6월 23일자.

지열전문위원회, 2007, 신·재생 에너지 지열분야 기술 및 시장 동향분석 보고서. 산업자원부, 에너지관리공단, 258 p.

지오테크, 2006, 지열시스템 설치사례. 설비/공조·냉동·위생, 3, 98-109.

지오테크, 2008, 지열시스템의 시공절차. 지오테크 홈페이지, www.geo-tech.co.kr.

최미영, 고명진, 김용식, 2008, 건축물에 적용된 지열히츠펌프 시스템의 국내 현황조사 및 분석. 대한건축학회 제4회 우수졸업논문전 수상논문 개요집, 4(1), 23-26.

최상규, 2003, 지열히트펌프는 국내 여건에 최적인 대체에너지. 에너지경제신문 2003년 2월 15일자, 한국기계연구원.

최형욱, 배종은, 김재한, 이성주, 2006, 광진구민 체육센터 및 청소년수련관의 지열 냉난방시스템 적용사례. 한진건설기술, 40, 59-67.

한국건설기술연구원, 2005a, 지열원 열펌프 설비 공사 시방서. 한국건설기술연구원, 일산, 177 p.

한국건설기술연구원, 2005b, 지열원 열펌프시스템의 기술기준(안). 한국건설기술연구원, 일산, 135 p.

한국수자원공사, 2008, 지하 열 자원 부존·활용 정보시스템 구축: 강변여과수(충적층 및 하상) 열자원 활용 기술. 에너지·자원기술개발 최종보고서, 한국수자원공사, 한국지질자원연구원, 178 p.

한국지질자원연구원, 2008, 지하 열 자원 부존·활용 정보시스템 구축. 에너지·자원기술개발사업 단계 완료 보고서, 한국지질자원연구원, 대전, 399 p.

한정상, 한혁상, 한찬, 김형수, 전재수, 2006, 수주지열정(SCW)을 이용한 천부지열 냉난방시스템 설계지침. 자원환경지질, 39(5), 607-613.

환경과 자연에너지, 2008, 지열 냉난방 시스템: 고유가 시대를 이기는 방법, 지구를 구하는 방법. www.iere.co.kr.

황광일, 신동걸, 김중헌, 신승호, 정명관, 2008, 복합용도 건물에 적용된 400RT급 수직형 지열시스템의 입주전 성능평가. 한국태양에너지학회 논문집, 28(3), 7-14.

황광일, 우상우, 김중헌, 신승호, 김용식, 2007, 주상복합 건축물의 기초 슬래브에 설치된 수형평 지열교환기의 계절별 성능평가. 한국태양에너지학회 논문집, 27(2), 11-17.

Bakema, G. and Snijders, A., 1998, ATES and ground-source heat pump in the Netherlands, IEA Heat Pump Center Newsletter, Vol. 16, No. 2, pp. 15-17.

Fry, V., 2009, Lessons from London: regulation of open-loop ground source heat pumps in central London, Quarterly Journal of Engineering Geology & Hydrogeology, Vol. 42, No. 3, pp. 325.

Gao, Q., Li, M., Yu, M., Spitler, J.D. and Yan, Y.Y., 2009, Review of development from GSHP to UTES in China and other countries, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 13, No. 6-7, pp. 1383-1394.

Geothermal Heat Pump Consortium, 2009, I. Galt House East Louisville, KY. http://www.GeoExchange.org/.

Godschalk, M.S. and Bakema, G., 2009, 20,000 ATES Systems in the Netherlands in 2020 - Major step towards a sustainable energy supply, Proceedings of 11th International conference on Thermal Energy Storage.

Curtis, R., Lund, J., Sanner, B., Rybach, L. and Hellstrom, G., 2005, Ground source heat pumps--geothermal energy for anyone, anywhere: current worldwide activity, World Geothermal Congress 2005.

Hamada, Y. et al., 2002, Study on underground thermal characteristics by using digital national land information, and its application for energy utilization, Applied Energy, Vol. 72, No. 3-4, pp. 659-675.

Holdsworth, B., 2004, Cool thinking: Unlocking earth's energy, Refocus, Vol. 5, No. 2, pp. 28-30.

IEA-ECES, 2009, IEA ECES. http://www.energy-storage.org/.

IFTechnology, 2009, Geothermal energy. www.iftechnology.com.

Ingrid, W., 2009, The ATES project - a sustainable solution for Stockholm-Arlanda airport The Proceedings of 11th International Conference on Thermal Energy Storage.

Jiurong, L. and Jianping, C., 2005, The Geothermal Resources and Development Plan in the Olympic Green, Beijing, China, The World Geothermal Congress 2005.

Kim, H.S., Jung, W., Ahn, Y. and Hwang, K.s., 2006, A Study on Application of The Available Geothermal Energy From Riverbank(including Alluvial and

Riverbed deposits) Filtration, The 2006 Summer Conference Proceedings of The Scociety of Air-conditioning and Refrigeration Engineering of Korea.

Lee, J.Y., 2009, Current status of ground source heat pumps in Korea, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 13, No. 6-7, pp. 1560-1568.

Morita, K., 2007, Status and Prospect of Ground-Source Heat Pumps in Japan, Refrigeration, Vol. 82, No. 951, pp. 45-50.

Nagano, K., 2007, Energy pile system in new building of Sappro city University Thermal Energy Storage for Sustainable Energy Consumption, pp. 245-253.

Nagano, K., Mochida, T. and Ochifuji, K., 2002, Influence of natural convection on forced horizontal flow in saturated porous media for aquifer thermal energy storage, Applied Thermal Engineering, Vol. 22, No. 12, pp. 1299-1311.

Rybach, L., 2003, Geothermal energy: sustainability and the environment. *Geothermics*, 32, 463-470.

Rybach, L. and Sanner, B., 2000, Ground-source heat pump systems: The European experience. GHC Bulletin, 3, 16-26.

USDOE (United States Department of Energy), 1980, Ground-water heat pumps: an examination of hydrogeologic, environmental, legal, and economic factors affecting their use. USDOE, Division of Buildings and Community Systems, Springfield, Virgia, 246 p.

USEPA (United States Environmental Protection Agency), 1997, Manual on environmental issues related to geothermal heat pump systems. USEPA, Atmospheric Pollution Prevention Division, Washington, D.C.

USEPA (United States Environmental Protection Agency), 1999, The Class V Underground Injection Control Study. Volumn 19, Heat Pump and Air Conditioning Return Flow Wells. USEPA, EPA/816-R-99-014s, 60 p.

Xue, Y., Xie, C. and Li, Q., 1990, Aquifer Thermal Energy Storage: A Numerical Simulation of Field Experiments in China, Water Resour. Res., Vol. 26, No. 10, pp. 2365-2375.

부 록

부록 1. 개방형 지중열교환기 개발 사진첩

공사명	개방형 지중열교환기 굴착공사(1호정)



1. 케이싱 자재

공사명	개방형 지중열교환기 굴착공사(1호정)



2. 배수로 확보 및 침전조 설치

공사명	개방형 지중열교환기 굴착공사(1호정)



3. 착정기 안착, 공기압축장치 안착, 케이싱 및 로드 배치

공사명	개방형 지중열교환기 굴착공사(1호정)



4. 굴착 위치 선정

공사명	개방형 지중열교환기 굴착공사(1호정)



5. 착정기 안착, 공기압축장치 안착, 케이싱 및 로드 배치

공사명	개방형 지중열교환기 굴착공사(1호정)



6. 굴착 위치 선정

공사명	개방형 지중열교환기 굴착공사(1호정)



7. 외부케이싱 설치

공사명	개방형 지중열교환기 굴착공사(1호정)



8. 지열공 굴착 및 대수층 확인

공사명	개방형 지중열교환기 굴착공사(1호정)



9. 개방형 지중열교환기 굴착 완료

공사명	개방형 지중열교환기 내부시설물 설치공사(1호정)



1. 수중모터펌프

공사명	개방형 지중열교환기 내부시설물 설치공사(1호정)



3. 양수파이프 배치

공사명	개방형 지중열교환기 내부시설물 설치공사(1호정)



4. 수중전선 배치

공사명	개방형 지중열교환기 내부시설물 설치공사(1호정)



5. 수중모터펌프 설치

공사명	개방형 지중열교환기 내부시설물 설치공사(1호정)



6. 양수파이프 결속 완료

공사명	개방형 지중열교환기 내부시설물 설치공사(1호정)



7. 개방형지중열교환기 내부시설물 설치공사 완료

공사명	개방형 지중열교환기 굴착공사(2호정)



1. 케이싱 자재

공사명	개방형 지중열교환기 굴착공사(2호정)



2. 굴착 위치 선정

공사명	개방형 지중열교환기 굴착공사(2호정)



3. 외부케이싱 설치

공사명	개방형 지중열교환기 굴착공사(2호정)



4. 지열공 굴착 및 대수층 확인

공사명	개방형 지중열교환기 굴착공사(2호정)



5. 개방형 지중열교환기 굴착 완료

공사명	개방형 지중열교환기 내부시설물 설치공사(2호정)



1. 수중모터펌프

공사명	개방형 지중열교환기 내부시설물 설치공사(2호정)



3. 양수파이프 배치

공사명	개방형 지중열교환기 내부시설물 설치공사(2호정)



4. 수중전선 배치

공사명	개방형 지중열교환기 내부시설물 설치공사(2호정)



5. PE파이프

공사명	개방형 지중열교환기 내부시설물 설치공사(2호정)



6. 주입관설치 준비

공사명	개방형 지중열교환기 내부시설물 설치공사(2호정)



7. 주입관 하부연결

공사명	개방형 지중열교환기 내부시설물 설치공사(2호정)



8. 지중열교환기 주입관 삽입

공사명	개방형 지중열교환기 내부시설물 설치공사(2호정)



9. 수중모터펌프 설치

공사명	개방형 지중열교환기 내부시설물 설치공사(2호정)



10. 개방형지중열교환기 내부시설물 설치공사 완료

공사명	개방형 지중열교환기 굴착공사(3호정)



1. 케이싱 자재, 배수로 확보 및 침전조 설치

공사명	개방형 지중열교환기 굴착공사(3호정)



2. 착정기 안착, 공기압축장치 안착, 케이싱 및 로드 배치

공사명	개방형 지중열교환기 굴착공사(3호정)



3. 굴착 위치 선정

공사명	개방형 지중열교환기 굴착공사(3호정)



4. 외부케이싱 설치

공사명	개방형 지중열교환기 굴착공사(3호정)



5. 지열공 굴착 및 대수층 확인

공사명	개방형 지중열교환기 굴착공사(3호정)



6. 개방형 지중열교환기 굴착 완료

공사명	개방형 지중열교환기 내부시설물 설치공사(3호정)



1. 수중모터펌프

공사명	개방형 지중열교환기 내부시설물 설치공사(3호정)



2. 양수파이프 배치

공사명	개방형 지중열교환기 내부시설물 설치공사(3호정)



3. 수중전선 배치

공사명	개방형 지중열교환기 내부시설물 설치공사(3호정)



4. 취수관 하부 스크린 연결

공사명	개방형 지중열교환기 내부시설물 설치공사(3호정)



5. 취수관 설치

공사명	개방형 지중열교환기 내부시설물 설치공사(3호정)



6. 수중모터 보호시설 설치

공사명	개방형 지중열교환기 내부시설물 설치공사(3호정)



7. 양수파이프 결속 완료

공사명	개방형 지중열교환기 굴착공사(4호정)



1. 착정기 안착, 공기압축장치 안착, 케이싱 및 로드 배치

공사명	개방형 지중열교환기 굴착공사(4호정)



2. 굴착 위치 선정

공사명	개방형 지중열교환기 굴착공사(4호정)



3. 외부케이싱 설치

공사명	개방형 지중열교환기 굴착공사(4호정)



4. 지열공 굴착

공사명	개방형 지중열교환기 내부시설물 설치공사(4호정)



1. PVC 파이프 준비

공사명	개방형 지중열교환기 내부시설물 설치공사(1호정)



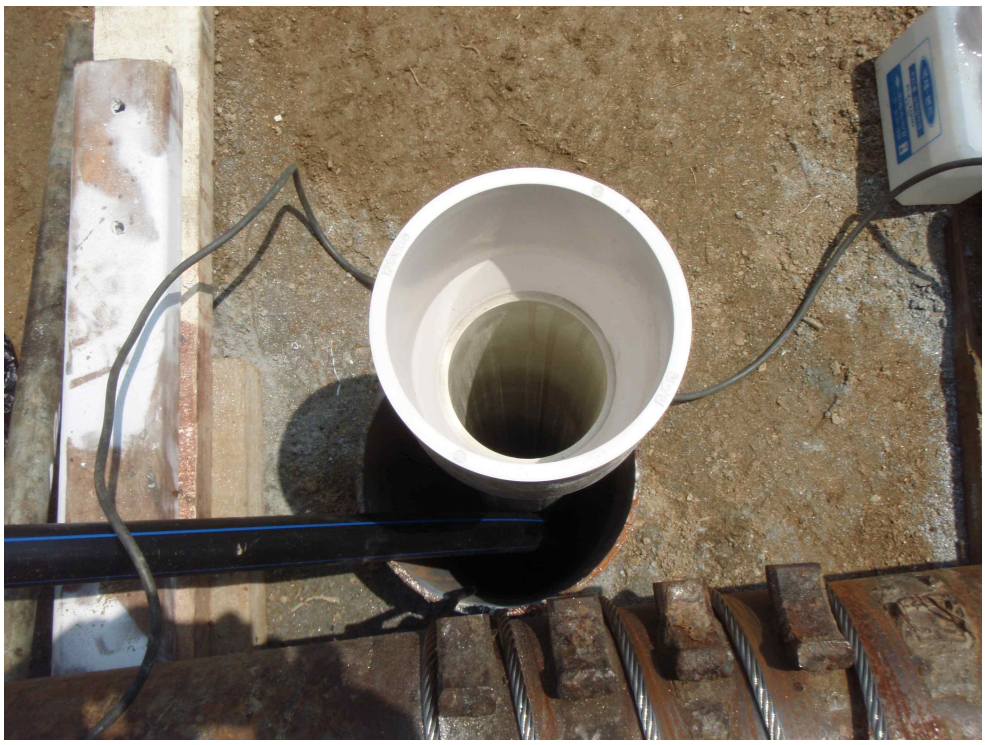
2. 내부케이싱 하단부스크린 설치

공사명	개방형 지중열교환기 내부시설물 설치공사(4호정)



3. PVC 파이프 연결

공사명	개방형 지중열교환기 내부시설물 설치공사(1호정)



4. 내부케이싱 설치공사 완료