

# 루프형 지열시스템 설계기법

박성구 대표이사  
/ (주)지오테크

일반원고

## 1. 지열원 열펌프시스템의 설계

시스템의 구성요소 중 지중 열교환기는 전체 시스템의 성능과 초기 설치비를 결정하는 주요 기기이며, 지열 열교환기의 성능은 열교환기 파이프 내를 순환하는 유체와 파이프 주변 매질간의 열전달과 밀접한 관련이 있다. 따라서, 지중 열교환기의 성능은 보어홀의 열저항(순환유체, 지중열교환기 파이프, 그라우트의 열저항 등)과 지반의 열전도 등이 매우 중요한 변수로 작용한다.

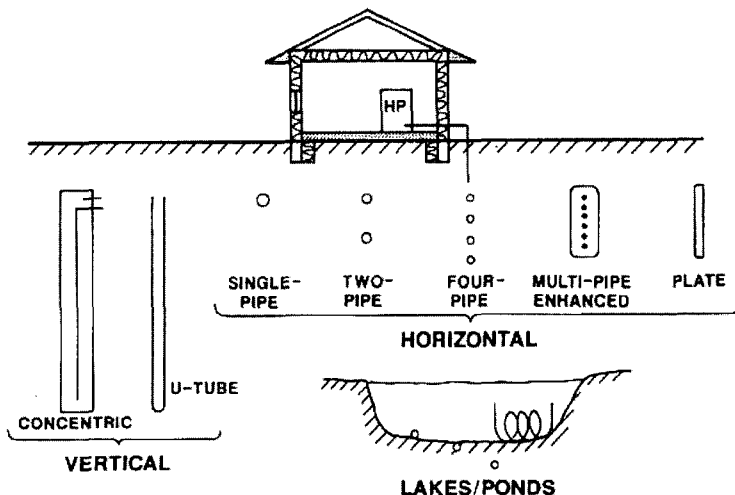
### - 수직형 지열시스템의 설계 -

#### 1.1 지중 열교환기의 선정

지열시스템의 수직형 또는 수평형의 선택은 유

효공간, 지질의 타입, 굴착비용에 달려있다. 단단한 암반층이 없는 넓은 공간이 있다면, 수평형 타입이 경제적으로 검토 되어질 것이다. 필요로 하는 토지의 면적은 multiple-pipe-laying 기술의 발전으로 감소되어져 왔다. 수직형은 이용 가능한 토지의 면적이 제한적일때 사용 되어진다. 많은 경우에 있어서는 유일한 방법이다. 수직형 또는 수평형 시스템의 선정은 시공비용 및 설치장소를 검토한 후에 결정해야 한다.

지중 열교환기는 최소의 비용으로 최대의 효과를 이끌어 낼 수 있도록 설계되어야 하며, 어떤 정형화된 타입이나 배치가 없기 때문에 설치 장소의 상황에 맞게 여러 방안들 중에서 선택하여야 한다. 폐쇄형 지중 열교환기는 그림 2에서와 같이 수직형과 수평형으로 구분되며 부동액이 흐름에

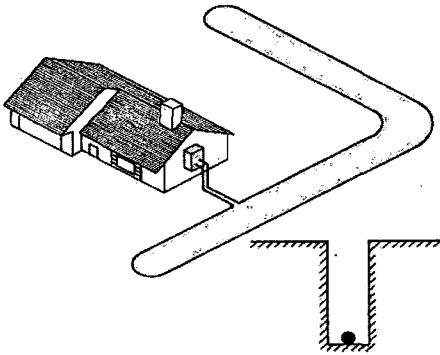


[그림 1] 지열시스템의 종류

## 일반원고

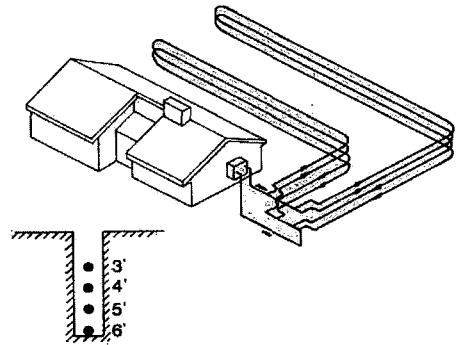
따라서 단일 및 병렬 흐름으로 구분될 수 있다. 단일 흐름에서는 하나의 관로로 유체가 흐르는 반면에, 병렬 흐름에서는 2개 또는 그 이상의 관로로 유체가 흐른다. 단일 흐름에서, 관로의 직경은 병렬 흐름과 비교하여 크기 때문에 열교환기 과

이프 재료비가 증가한다. 단일 흐름은 배관내의 공기를 플라싱에 의하여 쉽게 배출시킬수 있으며, 시공이 용이하다는 장점이 있다. 반면에 파이프의 직경이 크므로 재료비가 상승하며 시공비용이 증가한다는 단점이 있다.



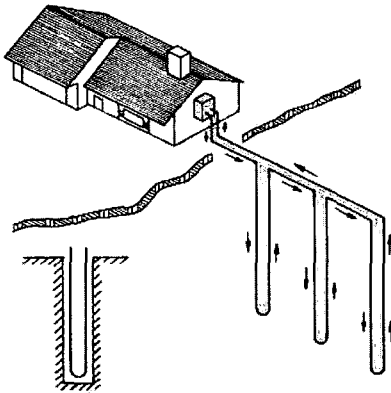
**Earth Coil Type:** Horizontal - Single Layer  
**Water Flow:** Series  
**Typical Pipe Size:** 1 1/2 to 2 inches  
**Nominal Length:** 350 to 500 feet/ton  
**Burial Depth:** 4 to 6 feet

Horizontal-Series Flow



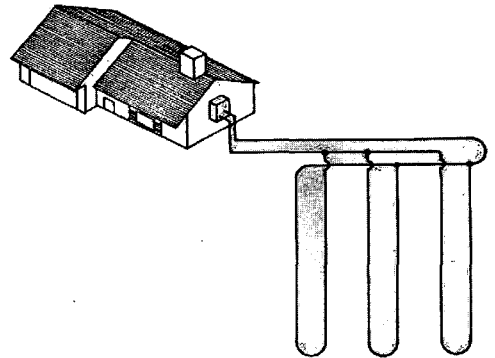
**Earth Coil Type:** Horizontal - Four-Layer  
**Water Flow:** Parallel  
**Typical Pipe Size:** Parallel loops 3/4 to 1 inch; headers 1 1/2 to 2 inches  
**Burial Depth:** 6 feet, 12-inch spacing

Horizontal-Parallel Flow



**Earth Coil Type:** Vertical - Single U-Bend  
**Water Flow:** Series  
**Pipe Sizes:** 1, 1 1/2, & 2 inches  
**Bore Length:** 165 to 200 feet/ton  
**Pipe Length:** 230 to 400 feet/ton

Vertical-Series Flow



**Earth Coil Type:** Vertical - Single U-Bend  
**Water Flow:** Parallel  
**Pipe Sizes:** 3/4- or 1-inch loops, 1 1/2- or 2-inch headers  
**Bore Lengths:** 175 to 225 feet/ton  
**Pipe Lengths:** 350 to 450 feet/ton

Vertical-Parallel Flow

[그림 2] 지중 열교환기 형상 및 순환유체 유동

병렬 흐름은 순환 유체가 병렬로 흐르기 때문에 모든 관로내의 공기가 고속의 플러싱 작업에 의하여 제거되어야 하기 때문에 설계와 설치시에 세심한 주의가 필요하다. 각각의 병렬 관로내로 동일한 유량이 흐를 수 있도록 설계되어야 하며 공급 및 환수헤더를 필요로 한다(그림 3).

직렬 순환방식과 병렬순환 방식의 장단점을 요약하면 다음과 같다.

**(1) 직렬 순환방식**

- 직렬 순환방식의 장점

- a. 단일화 된 Loop 및 파이프 직경으로 설계 및 시공 용이
- b. 큰 직경의 파이프 사용으로 병렬 순환방식 대비 파이프의 단위길이당 열전달률이 높음

- 직렬 시스템의 단점

- a. 열교환기 파이프 재료비 상승
- b. 시공비용 증가 및 작업성 저하
- c. 제한된 용량(Multi-Zone 구성 불가)

**(2) 병렬 순환방식**

- 병렬 순환방식의 장점

- a. 직렬 순환방식 대비 열교환기 파이프의 단가가 저렴함

b. 시공 비용 경제적

c. 시공시 작업성 용이

- 병렬 순환방식의 단점

- a. 지중 열교환기 설계 및 시공이 난해함
- b. 지중 열교환기 헤더(header)필요
- c. Loop 내 공기 및 이물질 제거 작업시 세심한 주의가 필요함(표 1).

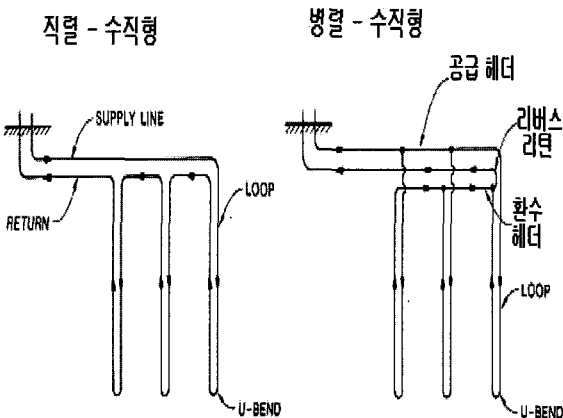
**(3) 수직형 지중 열교환기의 구성요소**

a. 공급 헤더(Supply Header), 환수 헤더(Return Header) 공급헤더와 환수헤더는 지열원 열펌프와 지열 열교환기 병렬루프의 공급(Supply), 환수(Return)부에 위치하며 부동액(순환유체)을 이송한다.

b. Loops  
공급헤더(Supply Header)로부터 지중의 Hole이나 Trench를 지나 환수헤더(Return Header)로 연결된 관군

c. 리버스 리턴(Reverse Return)  
각각의 loops를 흐르는 유체의 입, 출구 압력을 동일하게 하기위한 파이프 정렬방법

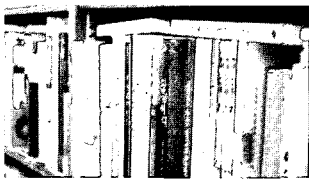
d. U-bend  
지중 Hole의 바닥부나 Trench의 끝부분에 사용되며 부동액(순환유체)의 흐르는 방향을 역방향으로 변화시키는 U자형 연결파이프



[그림 3] 지중 열교환기의 단일/병렬 흐름 계략도

<표 1> 배관내 공기 및 이물질 제거시 필요유량 [SDR-11 HDPE]

호칭구경(mm)	필요유량	
	(lpm)	(gpm)
20	15.1	4
25	22.7	6
32	34.0	9
40	45.4	12
50	68.0	18
80	151.2	40



## 일반원고

수직형 지중 열교환기의 세부 설계는 크게 3단계로 구분할 수 있다.

- I. 대상 건물의 냉/난방 부하계산
- II. 지중 열전도도 측정
- III. 지열 열교환기 설계

### 1.2 대상 건물의 냉/난방 부하계산

지열 열교환기 및 시스템의 설계를 위해서 대상 건축물에 대한 냉/난방 부하계산을 수행한다. 부하계산은 부하계산 프로그램(W/S Load)을 사용하여 지역, 기후조건, 실내조건, 구조체의 열관류율, 실별자료 등을 순차적으로 입력하여 계산을 수행한다(그림 4, 표 2).

### 1.3 지중 열전도도 측정(In-Situ Thermal Conductivity Test)

지중 열전도도 값은 지중 열교환기 설계시 가장 중요한 항목이다. 수직형 지중 열교환기를 설계할 경우 깊이에 따른 지중의 열적 물성치가 다르므로, 깊이에 따른 열적 물성치의 평균값으로 설계하는 것이 가장 효과적이다. 지중의 열적 물성치 값을 구하기 위해 현장에 시추공을 천공하고, 지중 열교환기를 설치한 후 지열 열교환기의 입·출구 유체온도, 히터의 소비전력을 측정한다. 현장 시추 테스트를 통하지 않고, 지하의 암반특성을 가정하여 열전도 값을 계산하는 것은 신뢰성이 떨어지며, 실제 시추공의 열전도 데이터로 지중 열전도 값을 얻는 방법이 시스템 설계시 가장

부하계산 프로그램 : Workspace/Load

#### 부하계산 작업순서

- 대상 건축물의 건축도면을 분석한다.
- 부하계산을 위한 입력값을 입력한다.  
(일반조건, 실내조건, 열관류율, 실외조건, 실별자료 등)
- 프로그램을 실행하여 부하계산값 산출

[그림 4] 건축물의 냉/난방 부하계산

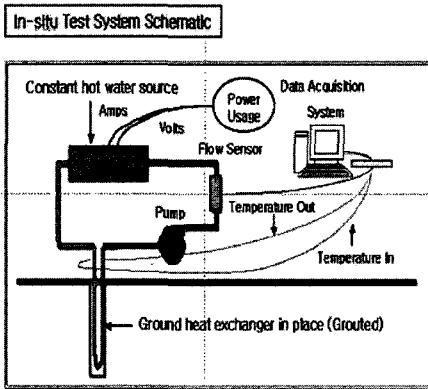
<표 2> 냉/난방 부하계산

층	실명	면적(m <sup>2</sup> )	냉방부하(kcal/h)				난방부하(kcal/h)		외기량(m <sup>3</sup> /h)
			현열	잠열	전열	FCU	AHU	FCU	
1F	창고 및 계단	16.8	20	171	191		528		20
1F	인터넷전용실	46.2	5,871	2,587	8,458		4,186		115
1F	영상자료실	58.3	8,789	3,094	11,883		5,897		145
1F	어린이열람실	56.7	6,325	2,839	9,164		4,959		142
1F	세미나실	178.5	12,936	5,873	18,809		16,993		446
1F	창고	17.5	40	134	174		878		0
1F	화장실1층-남	22.8	204	175	378		780		26
1F	화장실1층-여	16.6	188	128	316		629		21
1F	홀1	13.0	62	217	278		408		16
1F	홀2	39.6	188	659	847		1,245		45
1F	홀3	21.8	105	363	468		685		23
1F	홀4	43.9	469	729	1,198		1,381		50

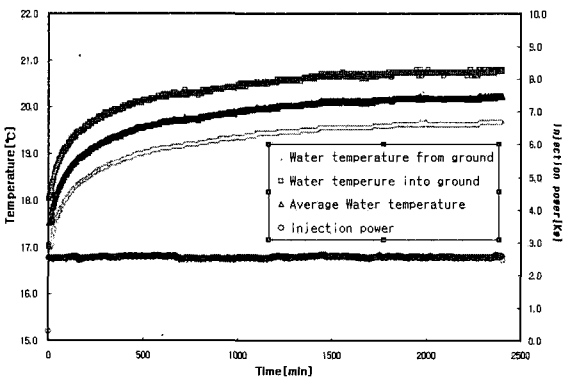
정확한 결과를 산출할 수 있다. 지중 열전도도 해석이론은 Kelvin의 Line-Source 이론을 바탕으로 i)보어홀을 무한히 긴 열원으로 가정하고, ii)열전달은 보어홀과 지반의 접촉면에서 열원의 수직방향으로만 일어나며, iii)열원의 온도는 항상 일정하게 유지된다는 가정하에 단순화 된 선형방정식을 사용하여 산정할 수 있다. 단순화 된 선형방정식은 식 ①로 나타낼 수 있다.

$$\Delta T = A + \left( \frac{Q}{4\pi k} \right) \ln(t) \quad \text{①}$$

$\Delta T$  = Average Temperature Difference  
 A = Constant  
 Q = Heat Transfer Rate



[그림 5] TC Test 계통도



부동액(순환유체)의 온도변화

식 ①을 k에 대하여 정리하면 식 ②와 같다.

$$k = \frac{Q}{(4\pi \times L \times slope)} \quad \text{②}$$

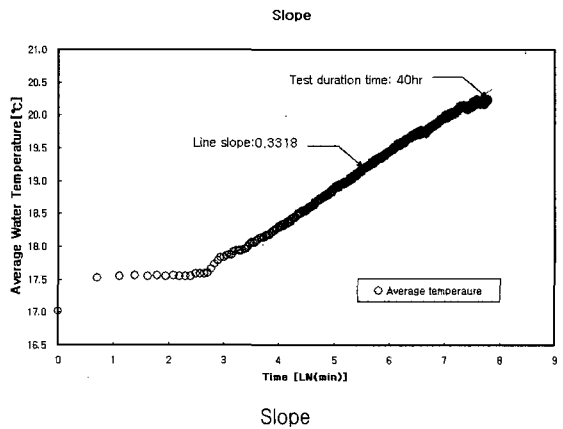
k = Thermal Conductivity

$\pi$  = pi

L = Borehole Depth

slope = Ave. Loop Temperature vs Time (Semi-log)

그림 5은 수직형 지열 열전도도 측정장비의 개략도를 나타낸 것이다. 그림 5와 같이 지중에 U자형 지열 열교환기 파이프를 설치하고, 열전도도 측정장비를 연결한다. 지중 열전도도 측정장비는 열원(전기히터), 순환펌프, 온도 및 소비전력 측정장치, 데이터 로고로 구성 되어있다. 열전도도 측정의 원리는 지열 열교환기 파이프 내로 히터에 의해 가열된 부동액(순환유체)을 유입시켜 지중 열교환을 통해 환수되는 부동액(순환유체)의 입·출구 온도차와 유량, 에너지 투입량을 측정하여 산정한다. 그림 6 및 표 3은 광주 지역의 열전도도 측정시험의 실례를 나타낸 것이다. 그림 6은 부동액(순환유체)의 온도변화 및 Slope 그래프를 나타낸 것이며, 표 3은 열전도도 측정 결과를 정리한 것이다.



[그림 6] In-Situ TC Test

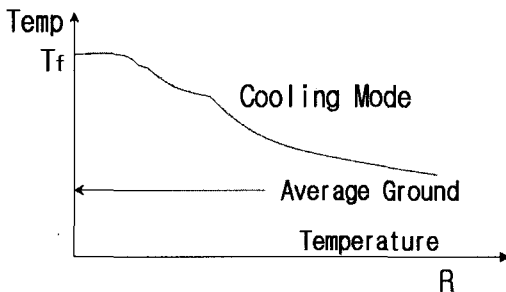
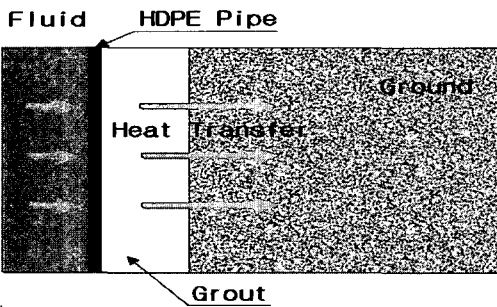
### 1.4 지중 열교환기 설계

지중 열교환기의 설계는 In-Situ Thermal Conductivity Test에서 얻어진 열전도 값과 그 이외의 데이터(지열순환 유체의 물성치, 지중토

양의 물성치, 열교환기 형상 및 타입, 주변기기들의 소비전력등)값들을 입력하여, 지중 열교환기 설계프로그램을 사용하여 시스템의 최적화 된 설계를 수행한다(그림 7).

<표 3> Summary of In-Situ Thermal Conductivity Test

Items		Location	Site(Gwangju)
Borehole	Depth [m]		215
	Diameter[mm]		152
Grouting	material		Bentonite+Silica-Sand
	Solids[%]		24
Ground heat exchanger	Type		Single U-tube
	Material		High-density Polyethylene
	Pipe size[mm]		30
	Thermal conductivity[W/m°C]		0.42
Circulating fluid			Water
Power injection[W]			2,560
Test duration time[hr]			40
Slope			0.3318
Thermal Conductivity Value[W/m°C]			2.86



#### 지중 열교환기 열전달 Factor

1. HDPE Pipe 열전도도
2. HDPE Pipe의 열간섭 현상
3. Grouting 재료의 열전도도
4. 지중 지반의 열전도도

#### 지중 열교환기 성능향상 설계방안

1. 순환유체의 열전달 효과증대  
[부동액 미첨가 방안 및 최적유속 선정]
2. HDPE Pipe의 열간섭 저감  
[이격클립 사용]
3. Grouting 재료의 열전도도 향상  
[Silica-Sand 첨가]

[그림 7] 지중 열전달 개요

<표 4> 주로 사용되는 부동액의 특성

종류	동결온도	점도 cP			밀도(kg/m³)		
		0[°C]	15[°C]	30[°C]	0[°C]	15[°C]	30[°C]
물	-0[°C]	1.79	1.14	0.80	999.6	998.1	994.8
10% 에탄올	-3.9[°C]	3.00	1.67	1.09	-	983.6	-
20% 에탄올	-8.3[°C]	4.62	2.32	1.42	-	972.4	-
10% 에틸렌글리콜	-3.9[°C]	2.09	1.37	0.97	1018.9	1015.7	1010.9
20% 에틸렌글리콜	-8.9[°C]	3.03	1.89	1.31	1036.5	1033.3	1026.9
10% 메탄올	-5.6[°C]	2.44	1.48	0.99	-	983.6	-
20% 메탄올	-11.7[°C]	3.02	1.77	1.15	-	975.6	-
10% 프로필렌글리콜	-3.3[°C]	2.70	1.63	1.11	1015.7	1010.9	1006.1
20% 프로필렌글리콜	-7.2[°C]	4.07	2.37	1.52	1026.9	1022.1	1015.7

<표 5> HDPE 파이프의 특성

항 목(단위)	물 성 치
밀 도[g/cm³]	0.953
응 응지수[g/10min]	0.10
항 복 인장강도[kg/cm²]	200 이상
신 율[%]	600 이상
충 격강도[kg/cm²]	13
비 열[°C]	0.55
열 전도율[W/m°C]	0.4
연 화온도[°C]	121
융 점[°C]	128
저 온 취화온도[°C]	-800이하

**(1) 부동액 및 순환방식 결정**

부동액(순환유체)은 열 펌프와 지중 열교환기 사이를 순환하여 지중으로 열을 방출하거나, 지중으로부터 열을 흡수하는 매체로서, 물(Water)또는 동결방지를 위해서 물+알콜, 물+글리콜의 수용액을 사용한다. 표 4은 주로 사용되는 부동액의 특성을 나타낸 것이다.

**(2) 열교환기 파이프의 선정**

지중 열교환기 파이프는 내구성, 내부식성, 파괴강도, 열전도도, 가격, 시공방법등을 고려하여야 한다. 지중 열교환기 파이프는 고밀도(High

Density)의 폴리에틸렌(Polyethylene)과 폴리부티렌(Polybutylene)재질의 파이프를 사용할 수 있으나, 일반적으로는 고밀도 폴리에틸렌(HDPE)파이프를 사용한다. 표 5는 폴리에틸렌 파이프의 물성치를 나타낸 것이다.

지중 열교환기 파이프의 직경을 결정할 때에는 부동액 순환 펌핑일과 열전도 측면을 고려해야 한다. 부동액(순환유체)순환의 펌핑일을 최소화 하기 위해서는 파이프의 직경이 클수록 유리하나, 부동액(순환유체)과 파이프 내부벽면의 원활한 열전달을 위한 난류유동(Re. 2500 이상)을 형성 하기 위해서 파이프의 직경은 일정값 이내로 제한되어야 한다. 결과적으로 파이프의 직경은 유체의 압력강하와 열전도 성능사이에 기초를 두고 선정되어야 한다.

**(3) 그라우팅 재료의 선정**

그라우팅은 지열 열교환기를 시추공에 매설한 후 시추공과 파이프 사이의 빈 공간을 되메우는 것이다. 그라우팅은 지열 열교환기와 암반사이의 공간을 메워 지중과의 열전달을 촉진하고, 시추공 내 지표수의 침투 및 지하수 오염을 방지한다. 그라우팅 재료가 갖추어야 할 조건으로는 높은 열전도율과 낮은 점도이며, 교반시 일정부피의 팽윤 현상이 일어나야 한다. 그라우팅 재료는 일반적으

로 시멘트류와 벤토나이트류의 2가지 종류를 사용한다. 시멘트류의 그라우팅 재료는 수화열의 발생과 교반 후 수축현상이 발생하기 때문에, 지중 열교환기의 그라우팅 재료로는 적합하지 않다. 벤토나이트류의 그라우팅 재료는 수화열이 발생하지 않으며, 비교적 점도가 낮고, 교반 후 팽윤현상이 일어나 지열 열교환기의 공극을 완벽히 채울 수 있는 장점을 가지고 있다. 일반적으로 지열 열교환기 시공시 그라우팅 재료는 위에서 언급한 이유로 벤토나이트를 사용하며, 표 6은 그라우팅 재료의 특성을 나타내었다(그림 8).

그라우팅 재료는 지열 열교환기의 성능과 직접적인 연관이 있으며, 열교환기의 성능을 향상시킬

수 있는 매우 중요한 요소이다. 지중 열교환기의 열저항은 그림 9와 같이 지중 열교환기 파이프와 그라우팅 재료의 열저항, 지반의 열저항 값으로 나타낼 수 있다.

그림 9의 보어홀 열저항 모델은 식 ③로 표현된다.

$$R_t = R_{pp} + R_g + R_{ground} \quad \text{③}$$

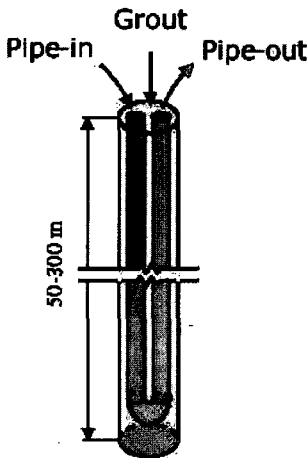
$R_t$ : 지중 총합 열저항

$R_{pp}$ : 열교환기 파이프의 열저항( $R_{p1}$ ,  $R_{p2}$  혼합 열저항)

$R_g$ : 유효 그라우트 열저항

$$R_{p1} = R_{p2} = R_{PIPE} \text{ 이므로, } R_{pp} = \frac{R_{PIPE}}{2}$$

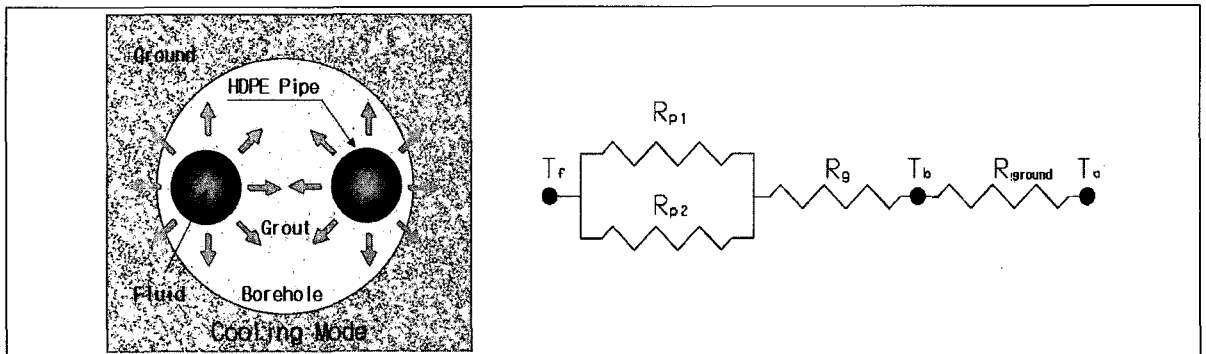
$R_{ground}$ : 지중 지반의 열저항



[그림 8] 수직형 지열 열교환기

<표 6> 그라우팅 재료의 특성

종류	장점	단점
시멘트류	혼합, 이송이 용이 적당한 투과성 단단한 그라우트 물성치는 첨가물을 넣어 쉽게 바꿀수 있다.	수화열에 의해 토양의 물성 변경 양생의 시간이 필요 밀도가 높음 수축가능성으로 인해 튜브와 밀착되지 않을수 있음
벤토나이트류	수화작용에 의한 열발생이 없음 공정시간이 짧음 낮은 밀도 수축이 없음 적당한 투과성	내부지층에 수분이 작을 경우 크랙발생 소지 염기나 유기산에 영향을 받음 오염된 물에서는 원하는 결과를 얻기 힘들 각 제품들의 지시사항이 상이



[그림 9] Thermal Resistance Model for Pipe and Grout



유효 그라우트 열저항( $R_g$ )은 식 ④으로 나타낼 수 있으며, 그라우팅 재료의 열전도 값과 보어홀 형상의 관계로 표현된다. 유효 그라우트 열저항은 식 ⑤로부터 유도할 수 있다.

$$R_g = \frac{l}{S_b K_g} \quad \text{④}$$

$$q' = S_b K_g (T_p - T_b) \quad \text{⑤}$$

$q'$  : 단위길이당 열전달율 [Btu/hr-ft]

$S_b$  : 보어홀 형상계수

$K_g$  : 그라우트 열전도 값 [Btu/hr-ft-°F]

$T_p$  : 열교환기 파이프의 외부 표면온도 [°F]

$T_b$  : 보어홀의 벽면온도 [°F]

보어홀의 형상계수는 식 ⑥로 나타낼 수 있다.

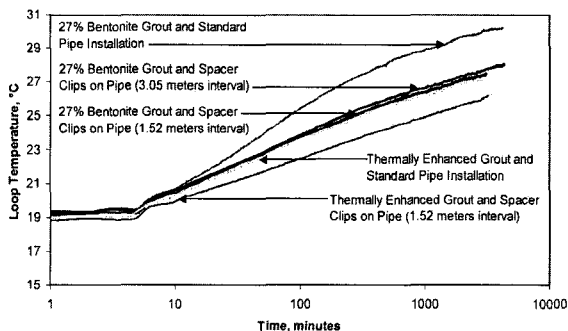
$$S_b = \beta_o \frac{D_b}{D_{p,o}} \quad \text{⑥}$$

표 7은 형상계수 산출을 위한 입력 변수값을 나타낸 것이다.

<표 7> Curve Fit Coefficients for Shape Factor Correlation

Configuration	$\beta_o$	$\beta$
A(좁은간격)	20.10	- .9447
B(보통간격)	17.44	-0.6052
C(넓은간격)	21.91	-0.3796

Comparison of Borehole Heat Transfer for Five Grout and Pipe Configurations  
Oklahoma State University T&F Building Loop Field



[그림 10] 그라우트 종류와 열교환기 파이프 간격에 따른 보어홀 열전달을 비교

표 8은 HDPE 파이프의 등가 열저항 값을 나타낸 것이다.

지중 지반의 열저항은 식 ⑦로 나타낼 수 있다.

$$R_{ground} = \frac{\ln\left(\frac{r}{r_b}\right)}{2\pi k} \quad \text{⑦}$$

$R_{ground}$  : 지중 지반의 열저항 [hr-ft-°F/Btu]

$r$  : 보어홀로부터의 이격거리 [m]

$r_b$  : 보어홀의 반경 [m]

그림 10은 열전도도가 상이한 그라우트 재료와 보어홀 내 지열 열교환기 파이프의 간격에 대한 열전달율을 비교한 그래프이다. 그라우팅 재료의 열전달율이 높고, 보어홀 내 파이프의 간격이 넓을 수록 보어홀의 열저항 값은 감소하여 지중으로 열전달이 잘 이루어지며, 그라우팅 재료의 열전달율을 증가시키기 위한 방법으로 벤토나이트와 미세모래(Silica-Sand)를 혼합하여 사용한다.

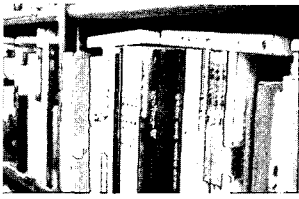
표 9는 IGSHPA에서 추천하는 파우더형 그라우트 제품을 나타낸 것이다.

<표 8> SDR-11 HDPE Pipe Resistances

Nominal Size	Out. Diameter (inch)	In. Diameter (inch)	$R_p$ (hr-ft-°F/Btu)	$R_{pp}$ (hr-ft-°F/Btu)
3/4	1.050	0.860	0.141	0.0705
1	1.315	1.077	0.141	0.0705
1-1/4	1.660	1.358	0.141	0.0705
1-1/2	1.900	1.554	0.141	0.0705
2	2.375	1.943	0.141	0.0705

<표 9> Bentonite Products [IGSHPA]

Product	Company	Percent Solids
BH Grout	Black Hills Bentonite	30%
Benseal/EZ Mud	Baroid Industrial Drilling Products	15%
Benseal/Aquagrout	Baroid Industrial Drilling Products	23%
Aquaguard Grout	Baroid Industrial Drilling Products	30%
Quick-Grout	Baroid Industrial Drilling Products	20%
Enviroplug Grout	Wyo-Ben, Inc.	30%
Grout-Well	Wyo-Ben, Inc.	18%
Volclay Grout	Colloid Environmental Technologies Co.	20%
PureGold Grout	Colloid Environmental Technologies Co.	-



## 일반원고

그라우팅시 필요한 그라우트 슬러리의 소요량은 표 10에 의하여 산정한다. 실제 그라우팅에 필요한 슬러리의 양은 현장작업시 발생할 수 있는 손실분을 고려하여 계산량의 약 25 ~ 50% 정도의 여유를 둔다.

〈표 10〉 그라우트 슬러리 소요량 계산

1. 단위 길이 당 보어홀 체적 계산	
(1) 보어홀 직경( $D_b$ ) = _____ [m]	
(2) 지중 열교환기 파이프의 직경( $D_{po}$ ) = _____ [m]	
(3) 보어홀 내 지중 열교환기 파이프 개수 (N) = _____	
(단일 U자관 파이프 N = 2, 이중 U자관 파이프 N = 4)	
(4) 보어홀 체적 : $V_L = 0.0408(D_b^2 - ND_{po}^2)$	
= _____ [liter/m]	
2. 보어홀 당 또는 전체 보어홀 체적 계산	
(1) 보어홀 길이( $L_b$ ) = _____ [m]	
(2) 보어홀 개수( $N_b$ ) = _____	
(3) 단일 보어홀 체적( $V_b$ ) = $V_L \times L_b$ = _____ [liter/bore]	
(4) 전체 보어홀 체적( $V$ ) = $V_L \times L_b \times N_b$ = _____ [liter]	
3. 그라우트 슬러리 소요량 계산	
(1) 그라우트 종류 및 제조사:	
(2) 그라우트 슬러리 평운량(제품별 표 참조) _____ [liter/bag]	

〈표 13〉 수직형 지중 열교환기 설계 항목 및 입력값 범위

보어홀	
보어홀 직경	4~6[inch]
보어홀 깊이	50~300[m]
보어홀 이격거리	4~6[m]
지중 조건	
지중온도	15±5 (°C)
지중 열전도도	2.0~3.5[W/m°C]
부동액(순환유체)	
순환유체 종류	물, 물+에탄올, 물+메탄올, 물+에틸렌글리콜, 물+프로필렌글리콜
설계 유량	10[lpm/RT]
열교환기 파이프	
파이프 종류	고밀도 폴리에틸렌
파이프 직경	3/4~1~1/4[inch]
파이프 내 부동액의 유동	난류 유동
루프 설치 형상	단일형, 복합형
보어홀 내 파이프 간 이격거리	근접, 보통, 최대이격
그라우트	
그라우트 재료	벤토나이트, 벤토나이트+실리카샌드
그라우트 열전도도	0.66~2.0[W/m°C]
설계 예측기간	
예측기간	10년

## 1.5 지열 열교환기 최적설계

초기 설계 후 최종적으로 지중 열교환기의 설계는 지열 열교환기 전문 설계프로그램(Ground Loop Design, GLHE/Pro)을 사용하여 산정한다. 프로그램에 In-Situ Thermal Conductivity

〈표 11〉 각종 그라우트의 물성치[1포 기준-출처: IGSHPA]

Product	Solids (%)	Grout Volume(gal)	Thermal Conductivity (Btu/hr-ft-F)	Permeability (cm/s)
Aquaguard	30	16.8	0.43	1×10 <sup>-6</sup>
AquagROUT	22.7	23.2	0.43	8×10 <sup>-6</sup>
Benseal/EZ Mud	15.3	36.6	0.38	6×10 <sup>-6</sup>
BH Grout	30	16.8	0.45	3×10 <sup>-6</sup>
Enviroplug	30	16.9	0.44	1×10 <sup>-6</sup>
Grout-Well	18	30.7	0.41	1×10 <sup>-7</sup>
Pure-gold	30	16.9	0.44	2×10 <sup>-6</sup>
Volclay Grout	20	27.0	0.41	3×10 <sup>-7</sup>

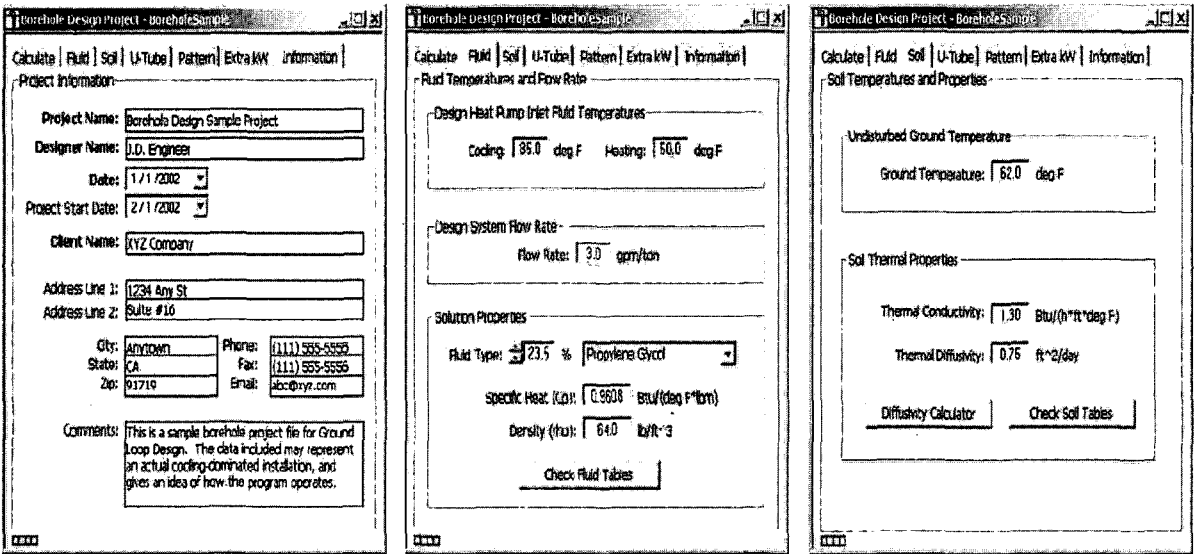
〈표 12〉 그라우트 주입파이프 크기에 따른 그라우트 슬러리 이송유량

그라우트 파이프 내경(Inch)	그라우트 이송유량(ℓ /min)
3/4	11.4~18.9
1	18.9~30.3
1-1/4	30.3~75.7
2	75.7~189.3

Test에서 얻어진 열전도 값과 부하산정값, 지열 열교환기형상 및 타입, 부동액(순환유체)의 물성치, 그라우트 물성치, 히트펌프 사양 등을 입력하여, 최적화 된 설계를 수행한다. 그림 11은 지열 열교환기 설계프로그램을 사용하여 계산하는 과정을 나타낸 것이다.

## 2. 결론

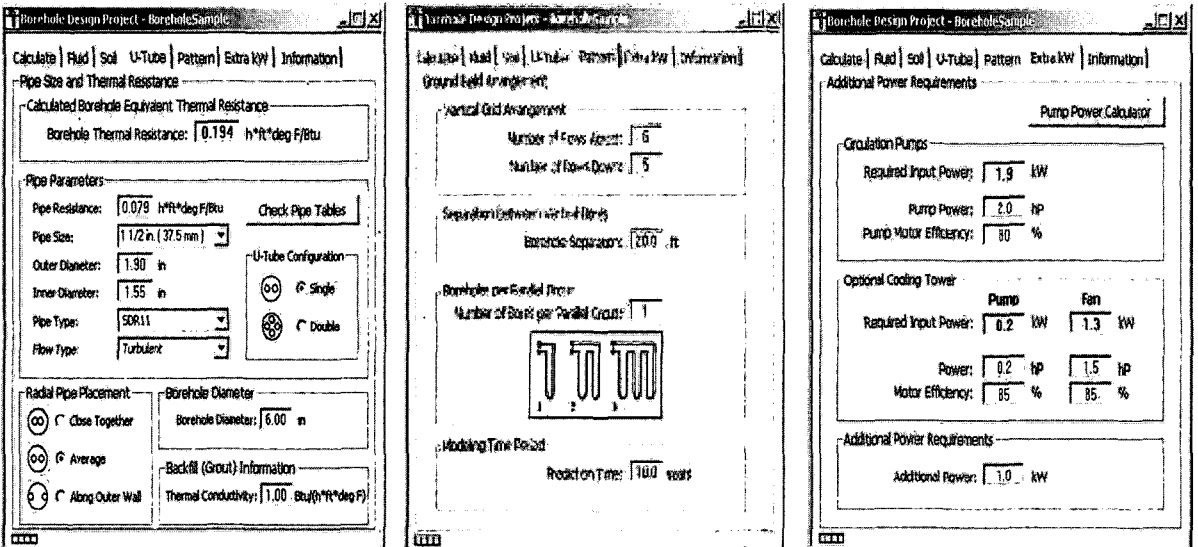
- 1) 지중 열교환기의 성능은 보어홀의 열저항 및 지반의 종류(열전달 특성)와 밀접한 관련이 있다.
- 2) 보어홀의 열저항은 부동액(순환유체)과 열



System Comments – Abstract

Input Fluid(Ground Water) Properties

Input Soil (Ground) Properties

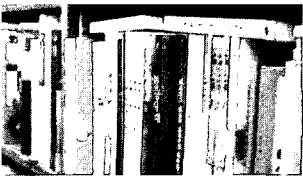


Input Loop Properties

Input Loop Pattern

Input Devices' Power

[그림 11] 지중 열교환기 설계순서(Ground Loop Design)



교환기 파이프, 그라우팅 재료의 열전달 특성에 좌우되며, 열저항을 적게 하여 열교환기 성능을 향상시킬 수 있다.

- 3) 열전도도가 높은 그라우팅 재료의 사용시 보어홀 열저항을 효과적으로 감소시킬 수 있다. (열전도도를 향상시키기 위해 규사같은 첨가제의 사용이 바람직 함)
- 4) 수직형 지중 열교환기 설계 항목 및 일반적인 설계값은 표 13와 같다.

### 참고문헌

1. IGSHPA, Oklahoma State University. Closed-Loop/Ground-Source Heat Pump Systems.
2. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc (ASHRAE). Cooling and Heating Load Calculation Manual.
3. Stephen P. Kavanaugh Kevin Rafferty. (ASHRAE). Ground-Source Heat Pumps : Design of Geothermal Systems for

- Commercial and Institutional Buildings.
4. Grundfos Pump Corporation. Clovis, Cal
5. Ground Loop Design. Geothermal Design Studio. GBT, Inc.
6. W/S Load Calculation Manual. DS, Inc.
7. Comparison of the Thermal Performance of Double U-Pipe Borehole Heat Exchangers Measured In Situ. D. Pahud, B. Matthey. University of Applied Sciences of Southern Switzerland.
8. Heat Transfer Analysis of Borehole In Vertical Ground Heat Exchangers. Heyi Zeng, Nairen Diao, Zhaohong Fang. Shandong Institute of Architecture and Engineering, China.
9. Experimental Study of a Closed Loop Vertical Ground Source Heat Pump System. Arif Hepbasli, Ozay Akdemir, Ebru Hancioglu. Ege University, Izmir, Turkey.
10. 지열원 열펌프 설비공사 시방서, 2005, 한국건설기술연구원 