

## 열응답시험을 이용한 수평형 지중열교환기 열특성 연구

장근선<sup>1</sup>, 김민준<sup>2\*</sup>, 김영재<sup>3</sup>

<sup>1</sup>선문대학교 기계공학과, <sup>2</sup>선문대학교 기계공학과대학원, <sup>3</sup>선문대학교 환경생명화학공학과

### A Study on the Thermal Characteristics of Horizontal Ground Heat Exchanger using Thermal Response Test

Keun Sun Chang<sup>1</sup>, Min-Jun Kim<sup>2\*</sup>, Young-Jae Kim<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Mechanical Engineering, Sunmoon University

<sup>2</sup>Department of Mechanical Engineering, Graduate School of Sunmoon University

<sup>3</sup>Department of Environmental and Bio-Chemical Engineering, Sunmoon University

**요약** 현재까지 지열 열펌프 시스템의 지중열교환기는 수직 밀폐형과 개방형 지중열교환기가 주로 설치되어 열응답시험을 이용한 열특성 평가가 수행되어 왔다. 본 논문에서는 열응답시험과 선형열원법을 이용하여 수평형 지중열교환기의 열특성을 분석하였다. 또한 지열 열펌프 시스템은 매일 단속 운전되어지므로 일일부하시험을 수행하여 수평형 지중열교환기의 지중온도 및 순환수 평균온도 일별 변화를 고찰하였다. 시험을 위해 경기도 안산에 직선식 수평형 지중열교환기(심도 2 m, 길이 50 m 8줄)를 설치하였다. 시험결과 수평형 지중열교환기의 지중 열전도율은 연중 1.43 ~ 1.64 W/m·K 범위로 비교적 큰 변화가 없으며 12월에 최대값을, 5월에 최소값을 갖는 것으로 나타났다. 12일간 지중 열교환기로 하루 10시간동안 6.0 kW의 열량을 투입하는 연속 부하시험을 6월, 9월, 12월에 수행한 결과 지중온도는 이 기간 동안 각각 4.31℃, 3.14℃, 1.21℃ 상승하는 것으로 나타났다.

**Abstract** Vertical and standing column well ground heat exchangers have mostly been installed for ground source heat pump systems (GSHP) and thermal response tests (TRT) have been applied to evaluate the thermal characteristics for these heat exchangers. In this paper, the TRT coupled with a line source method was applied to evaluate the thermal characteristics of the horizontal ground heat exchanger (HGHX). Load tests of a HGHX were also performed to examine the daily variations of the ground and fluid temperatures associated with the daily intermittent operation of GSHP. For this test, the straight HGHX (depth 2 m, length 50 m, 8 line) was installed in Ansan city.

The results showed that the variations of ground thermal conductivity of HGHX during one year were relatively small with the range of 1.41 ~ 1.64 W/m<sup>2</sup>K, and the maximum and minimum values appeared in December and May, respectively. Load tests with heat injection rate of 6.0 kW for 10 hours per day to HGHX during twelve days were performed in June, September and December, and resulted in a ground initial temperature rise of 4.31℃, 3.14℃, and 1.21℃ during these days, respectively.

**Keywords** : Thermal response test(TRT), Ground thermal conductivity, Horizontal ground heat exchanger(HGHX), Ground source heat pump system(GSHP)

### 1. 서론

지열 열펌프 시스템은 지중의 열원을 이용하며, 지중

열교환기는 난방운전 시에는 지중으로부터 열원을 흡수하는 히트소스(Heat source), 냉방운전 시에는 열펌프에서 발생한 열을 지중에 방열하는 히트싱크(Heat sink)

본 연구는 2013년도 선문대학교 교내 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

\*Corresponding Author : Min-Jun Kim(Sunmoon University)

Tel: +82-10-8895-1287 email: [mjkim@kraac.or.kr](mailto:mjkim@kraac.or.kr)

Received January 8, 2016

Revised (1st February 17, 2016, 2nd February 22, 2016)

Accepted March 3, 2016

Published March 31, 2016

역할을 담당한다. 지중열교환기는 지중에 설치되어지는 형상에 따라 크게 수직형(Vertial)과 수평형(Horizontal)으로 구분되어진다. 현재 국내에 설치되는 지중열교환기는 수직형이 대부분 보급되고 있으나, 지중열교환기를 설치할 수 있는 부지확보가 비교적 용이한 비닐하우스, 학교 등에서 수평형 지중열교환기가 적용되는 사례들이 늘어나고 있다[1, 2].

Park 과 Kang[1]은 시설용 하우스에 수평형 지중열교환기가 적용된 지열 열펌프 시스템을 설치하여 실증연구를 수행하였으며, Sohn[2]은 면적 18.4 m<sup>2</sup>, 체적이 64.4 m<sup>3</sup>의 모사용 유리온실을 제작하고 정격 냉방능력 5 kW 급 물-공기 열펌프에 수평형 지중열교환기를 설치한 후 실부하에 대한 수평형 지중열교환기의 열특성 및 지열 열펌프 시스템 성능을 분석하였다. 그러나 이들 연구에서는 수평형 지중열교환기의 지중 특성을 고려한 열응답 시험을 포함한 체계적 실증시험이 수행되지 않았다.

지중열교환기는 일반 열펌프에 적용되는 열교환기와는 다르게 지열 열펌프가 설치되는 현장에 직접 설치하기 때문에 현지의 지중특성에 따라 열교환기의 능력이 다르게 나타난다. 수평형 지중열교환기의 경우 현지의 지중 약 1.5 ~ 3.0 m 내의 얇은 심도를 굴착하고 지중 열교환기가 매설되므로 지중도양, 외기온도, 강수량 등 외부 인자들의 영향을 받는다. 또한 수평형 지중열교환기를 제작할 때 흙을 다시 메우는 과정에서 다듬질하는 방법 및 시공성에 의해 영향을 받는다.

오늘날 전 세계적으로 지열 열펌프 시스템이 설치되어지는 현지의 지중열교환기의 열적특성을 평가하는 방법으로 열응답시험(Thermal Response Test : TRT)이 사용되고 있다[3]. 현장 열응답시험은 수직 밀폐형 지중열교환기의 지중 열전도율 및 보어홀 열저항을 산출하기 위한 방법으로 많이 사용되어 왔지만[4, 5] 지중열교환기에 일정한 열량을 일정한 시간동안 투입하여 개방형 지중열교환기(Standing Column Well : SCW) 등 다른 형태의 지중열교환기의 열적특성을 분석하는데 확장 사용되고 있다.

따라서 본 논문에서는 열응답시험을 이용하여 수평형 지중열교환기의 열적특성을 살펴보았으며, 선형열원법(Line source method)을 이용하여 지중 열전도율을 산출하고 연중 변화특성을 분석 하였다. 또한 부하시험(Load test)을 수행하여 수평형 지중열교환기의 지중 온도 변화 특성을 살펴보았으며, 계절특성이 수평형 지중열교환기

에 미치는 영향을 살펴보았으며, 수직형 지중열교환기의 열적특성과 비교 분석하였다.

## 2. 시험장치 및 시험방법

### 2.1 수평형 지중열교환기

수평형 지중열교환기의 열적특성을 파악하기 위해 경기도 안산에 직선식 수평형 지중열교환기를 설치하였다. Fig. 1은 수평형 지중열교환기의 형상 및 시험 개략도를 보여주고 있다. 본 시험을 위해 제작된 수평형 지중열교환기는 지중도양 매설깊이 2 m, 수평길이 50 m, 폭 2.7 m로 굴착하였으며, 다듬질 기계로 수평하게 다듬질을 한 후 길이 50 m, 직경 30 mm 배관을 0.3 m간격으로 8개(총 배관길이 400 m) 매설하였다. Table 1은 수평형 지중열교환기의 제원을 보여주고 있다.

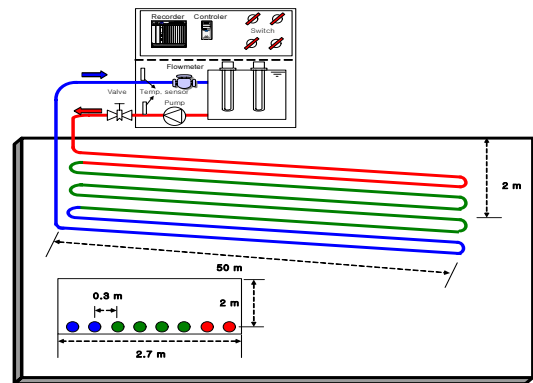


Fig. 1. Schematic diagram of TRT and horizontal ground heat exchanger

### 2.2 시험방법

본 연구에서는 수평형 지중열교환기의 열적특성을 살펴보기 위해 열응답시험과 부하시험을 수행하였다. 우선 Fig. 1과 같이 수평형 지중열교환기가 제작된 이후 열응답시험기와 수평형 지중열교환기를 연결하고 초기에 열 공급 없이 펌프를 이용하여 지중열교환기 내부의 물을 1 시간동안 순환시켜 지중 초기온도를 구하였다. 이후 지중열교환기에 일정한 열량을 48시간 동안 투입하여 지중열교환기의 시간에 대한 입·출구 온도를 측정하였다. Table 2는 열응답시험의 시험조건을 보여주고 있다.

Fig. 2는 수평형 지중열교환기의 부하시험 원리를 보

여주고 있다. 그림에서  $T_f$ 는 순환수 평균온도를  $Q_m$ 은 투입열량을 나타낸다. 부하시험에서는 지열 열펌프 시스템이 냉방운전으로 하루에 10시간 운전되어지고 14시간 정지되어 있다고 가정하였다. 이때 순환펌프는 초기온도 측정을 위해 열량 투입 전후로 1시간 가동하였으며, 열량투입 직전의 순환수 평균온도가 지중열교환기 초기온도로 가정하였다. 수평형 지중열교환기로 투입되는 열량은 하루에 66 kWh/day로서 매일 동일시간에 투입하였으며, 부하시험 조건은 Table 3에 나타내었다.

Table 1. Design parameters of horizontal ground heat exchanger

|            |       |               |       |
|------------|-------|---------------|-------|
| Length     | 50 m  | Width         | 2.7 m |
| Depth      | 2.0 m | Pipe length   | 400 m |
| Pipe space | 0.3 m | Pipe diameter | 30 mm |

Table 2. Test conditions of thermal response test

|                         | Unit        | Operating condition |
|-------------------------|-------------|---------------------|
| Circulating flow rate   | L/min       | 22                  |
| Injection heat capacity | kW          | 6.6                 |
| Injection time          | h           | 48                  |
| Loop in/out $\Delta T$  | $^{\circ}C$ | 4.0 ~ 4.5           |

Table 3. Test conditions of load test

|                         | Unit  | Operating condition |
|-------------------------|-------|---------------------|
| Circulating flow rate   | L/min | 22                  |
| Injection heat capacity | kW    | 6.6                 |
| Measurement time        | h     | 10                  |
| Circulating flow time   | h     | 12                  |
| Test period             | day   | 12                  |

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 지중 열전도율 산출

Fig. 3은 열응답시험에서 얻은 수평형 지중열교환기의 시간에 대한 입구온도( $T_{in}$ ), 출구온도( $T_{out}$ ) 및 평균온도( $T_f$ ) 데이터를 보여주고 있다. 지중열교환기에 열량을 투입하기 전에 지중열교환기 내부에 채워진 순환수를 순환시켜 지중온도를 측정된 결과 초기온도  $T_0$ 는 22.1  $^{\circ}C$ 로 측정되었으며 시험이 수행된 10월 초순의 외기온도 보다 다소 높은 값을 보였다. 지중온도 측정 후 지중열교환기로 6.6  $\pm 0.1$  kW의 열량을 48시간 동안 안정적

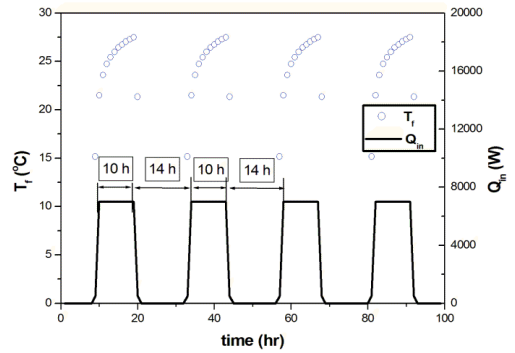


Fig. 2. Conception of load test method

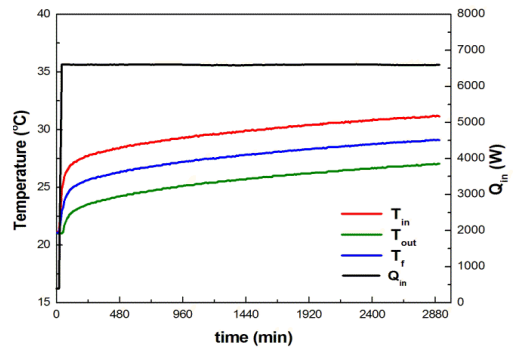


Fig. 3. Variations of the circulating water temperature with operating time

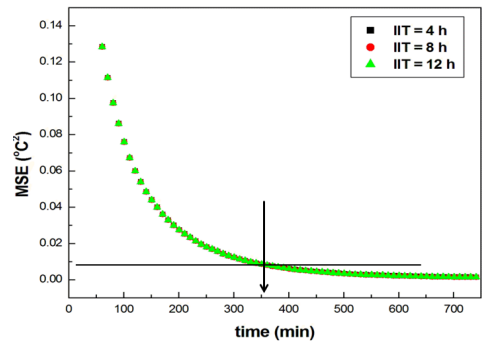


Fig. 4. Analysis of initial ignoring time(IIT)

으로 투입하였다. 이때 지중열교환기로 순환하는 순환수의 입/출구 온도차는 4.2  $^{\circ}C$ , 순환수 유량은 22 L/min으로 일정하게 유지하였다. Fig. 3에서 보듯이 지중 순환수 온도는 열량이 투입되는 초기에 급격한 상승을 보이며 이는 초기에 열확산이 주로 관 내부에서만 이루어지고 투입된 열이 주로 순환수 가열에 사용되어지기 때문이다. 초기의 급격한 상승 이후 온도 상승률은 크게 떨어지며 이는 점차 지중으로 열확산이 진행되어 지중

의 물리적 특성이 후기 열전달 특성에 영향을 주기 때문이다. 이후 지중으로의 열확산이 완료되어 열전달이 준평형상태에 도달하면 온도는 거의 일정하게 상승하는 경향을 나타내게 된다.

열응답시험을 통해 얻은 데이터로부터 선형열원법을 이용하여 지중열전도율을 계산하기 위해서는 초기 시험 데이터의 적절한 제외가 필요하다. 본 논문에서는 Lee 등[6]이 이용한 평균자승오차(MSE, Mean Square Error) 분석법을 사용하여 수평형 지중열교환기의 초기제외시간(IIT, Initial Ignoring Time)을 결정하였다.

Fig. 4는 각 시간대별 초기제외시간에 따른 MSE 분석결과를 보여주고 있다. 초기제외시간을 4, 8, 12시간으로 각각 적용하였을 때 MSE 값은 시간이 지남에 따라서 작아지는 경향을 보이고 있다. Fig. 4에서 보듯이 각각의 초기제외시간에 따른 MSE 변화는 거의 나타나지 않았다. MSE 값이  $0.01 \text{ } ^\circ\text{C}^2(1\%)$  이하에 도달하는데 걸리는 시간은 모든 경우에서 약 6시간으로 나타났으나 본 논문에서는 보다 정확한 열전도율 결과를 얻기 위해 초기제외시간을 수직형 지중열교환기에 대해 도출한[7] 12시간을 적용하였다.

수직형 지중열교환기의 경우 지중 열전도율을 산정하는 방법으로 선형열원법이 이용되고 있으며, 식 (1)과 같다.

$$k = \frac{Q}{4\pi L_v a} \quad (1)$$

여기서  $k$ 는 지중 열전도율,  $Q$ 는 보어홀에 투입된 평균열량이며,  $a$ 는 로그시간에 대한 지중 순환수 평균 온도변화 기울기,  $L_v$ 은 수직형 지중열교환기의 심도이다.

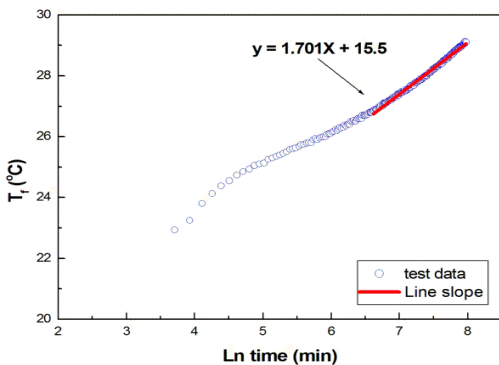


Fig. 5.  $T_f$  vs. Ln time

수평형 지중열교환기의 경우 수직형과 달리 얇은 심도에 여러 개의 파이프를 묻어 열교환기의 길이를 만들어 냈으므로 수직형 지중열교환기의 적용되는 식을 그대로 사용하기에는 문제점이 존재한다. 하지만 수평형 지중열교환기의 경우에도 수직형과 유사한 형태로 열응답시험 그래프가 형성됨에 따라 수평형의 파이프 길이를 수직형의 파이프 길이처럼 가정하여 수정된 선형열원법을 정립하였으며, 식 (2)와 같이 표현하였다.

$$k_h = \frac{Q_h}{4\pi L_h a} \quad (2)$$

여기서  $L_h$ 는 수평형 지중열교환기 길이를 말하며, 2관식 수직형 지중열교환기와 동일한 파이프 길이로 가정하여 총 파이프 매설 길이의 반값을 적용하였으며, 본 연구에 사용된 수평형의 경우 매설된 파이프 길이가 400 m이므로,  $L_h$  길이는 총 매설된 파이프 길이의 반인 200 m를 사용하였다.

Fig. 5는 로그시간에 따른 순환수 평균온도 변화를 보여주고 있다. 초기제외시간 12시간을 제외한 로그시간에 따른 온도 기울기를 계산한 결과 1.70로 나타났으며, 이를 식(2)에 대입하면 10월에 측정된 수평형 지중열교환기의 지중 열전도율은  $1.54 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ 로 나타났다.

### 3.2 수평형 지중열교환기 연중 지중 특성

수평형 지중열교환기의 경우 지중 얇은 심도에 지중열교환기가 매설되므로 외기온도, 강수량 등이 지중온도 및 지중열교환기의 열적 특성에 많은 영향을 미친다. 따라서 열응답시험을 사용하여 수평형 지중열교환기의 연중 열적 특성을 파악하는 것이 매우 중요하다.

Fig. 6은 1년 동안 수행된 수평형 지중열교환기의 온도데이터로 시험이 수행된 장소의 주변온도와 지중온도 변화를 보여주고 있다. Fig. 6에서 보면 지중온도의 변화 곡선은 주변온도 보다 작은 변화량을 보여주고 있으나, 주변온도의 영향을 많이 받는 것을 알 수 있다. 그러나 주변온도가 최고/최저온도를 보이는 8월과 1월에 지중온도는 최고/최저온도를 보이기보다 한 달이 지난 후에 최고/최저온도 값을 보이고 있다.

Fig. 7은 1년 동안 시험한 수평형 지중열교환기의 지중 열전도율 변화를 보여 주고 있다. 지중 열전도율의 산술평균값은 약  $1.51 \text{ W/m.K}$ 로 나타났으며, 최고값은

1.64 W/m.K, 최소값은 1.43 W/m.K 으로 변화량이 평균값에 비해 -5.3% ~ +8.6%로서 수평형 지중열교환기가 얇은 심도에 설치되어 지중온도 변화가 큰 폭으로 변화함에도 지중 열전도율은 크게 변화하지 않음을 보여 준다.

또한 지중 열전도율은 지중온도가 낮아지는 가을-겨울구간이 상대적으로 높게 나타났으며, 지중온도가 높아지는 겨울-봄 구간은 낮게 나타났다. 이는 계절적인 영향으로 가을-겨울구간이 겨울-봄 구간에 비해 외기습도가 높음으로 인해 토양의 수분함수비가 증가하기 때문으로 분석된다.

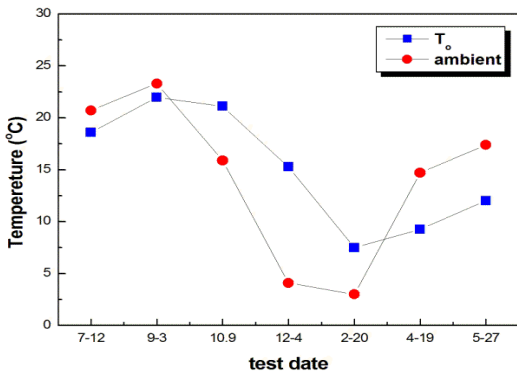


Fig. 6. Variations of underground and ambient temperature with test date

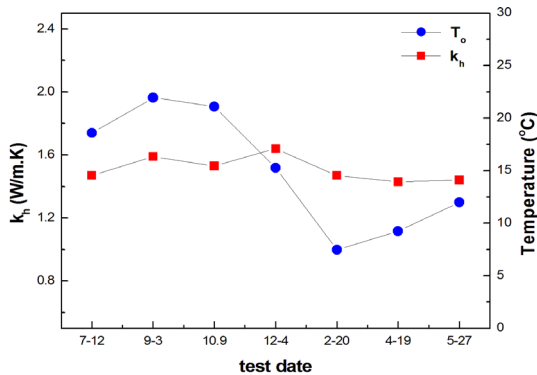


Fig. 7. Variations of the k, underground temp. with test date

### 3.3 수평형 지중열교환기 부하시험 특성

본 연구에서는 일일 단속 운전되는 지열 히트펌프 시스템의 난방운전조건에서 수평형 지중열교환기의 지중온도 변화 특성을 살펴보기 위해 부하시험을 수행하

였다.

Fig. 8은 6월에 수행된 부하시험 시험데이터를 보여 주고 있다. Fig. 8에서 보듯이 투입열량은  $6.6 \pm 0.1$  kW로 매일 일정하게 66 kWh/day가 지중에 투입되었다. 시험이 수행된 첫날 시험 전 지중온도를 측정하였으며, 지중 초기온도는 약 15.7 °C로 나타났다. 지중열교환기에 열량을 10시간 투입 하였을 때, 순환수 평균온도는 21.1 °C로 상승하였으며 다음날 지중열교환기로 열량투입 전 초기온도 측정결과 16.7 °C를 보였다.

Fig. 9는 부하시험이 수행되는 날에 측정된 지중열교환기의 초기온도 변화와 초기온도 상승값을 보여주고 있다. 그래프에서 지중열교환기 초기온도는 열량투입 전에 순환펌프로 1시간 순환수를 순환시켰을 때 열량 투입 직전의 10분 동안의 지중 순환수 온도 평균값을 적용하였다.

매일 지중에 10시간씩 열량이 투입되면서 초기온도는 상승하는 경향을 보였다. 시험이 수행된 첫날 측정된 지중 초기온도는 15.7 °C로 측정 되었으며, 12일 후에는 초기온도가 20.0 °C로 약 4.3 °C 상승하였다. 이러한 지중온도 상승값을 측정하여 전날에 측정된 초기온도와 차이를 살펴본 결과, 초기온도가 증가하는 폭은 첫날은 약 1.0 °C, 이후 약 4일간은 온도의 상승폭이 점차 감소하다가 6일 이후에는 약 0.3 °C 이하로 상승하는 경향을 보였으며 이후 매일 유사한 값을 보였다.

Fig. 10은 6, 9, 12월에 수행된 수평형 지중열교환기와 수직형 지중열교환기의 초기온도 변화를 보여주고 있다. 앞에서 설명하였듯이 지중열교환기의 운전패턴은 5월 ~ 9월은 난방운전에 따른 응축기(지중열 방열)로 약 5개월 동안 사용되며, 반대로 11월 ~ 3월은 난방운전에 따른 증발기(지중열 흡열)로 약 5개월 동안 사용된다.

Fig. 10에서 보면 수직형의 경우 초기에 온도가 많이 상승하나 3일 이후 거의 선형적으로 상승하는 경향을 보인 반면, 수평형은 6월과 9월에 수행된 시험의 경우 초기온도는 일별 상승률이 수직형에 비해 높게 나타나고 있다. 12월에 수행된 시험의 경우 온도가 초기에 상승하다가 거의 일정하게 유지되는 경향을 보였다. 또한 6월에 수행된 시험의 경우 지중에 투입된 열량이 9월에 수행된 시험보다 작음에도 불구하고 초기온도 상승값이 더 높게 나타났다. 이는 태양의 일조량과 관련이 있는 것으로 일조량이 증가하는 6월의 경우가 일조량이 감소하는 9월에 비해 초기온도에 많은 영향을 주기 때문이다. 또

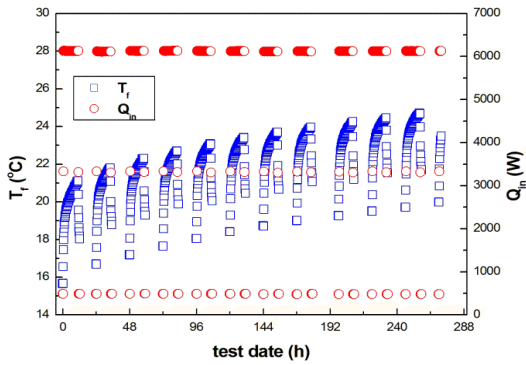


Fig. 8. Variation of the  $T_f$  and  $Q_{in}$  with operating time

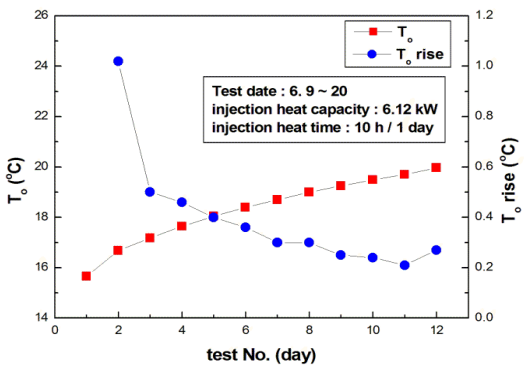


Fig. 9. Variation of the  $T_o$  and  $T_o$  rise with operating time

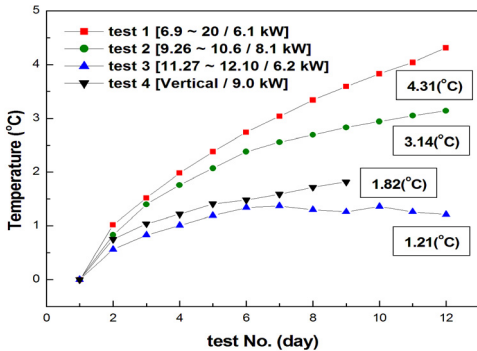


Fig. 10. Variation of the  $T_o$  with operating time and test date

한 12월에 수행된 시험의 경우 초기에는 하절기에 수행된 시험과 유사한 경향을 보이나 3~4일 이후에는 온도가 상승하지 않고 거의 일정하게 유지되는 경향을 보였다. 이는 수평형의 경우 매설깊도가 얕아 겨울철 대기온도에 의한 영향이 크게 작용되기 때문이다. 그러나 수평형 지중열교환기의 경우도 수직형 지중열교환기에서와 같이 지중 초기온도 변화는 유사한 경향을 보였다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 수평형 지중열교환기의 열특성을 분석하기 위해 심도 2 m의 직선식 수평형 지중열교환기를 제작하고 열응답시험기를 이용하여 지중온도, 지중 열전도율 등의 열전달 특성을 고찰하였으며 부하시험을 수행하여 지중열교환기의 지중 초기온도 및 순환수 평균온도 일일 변화를 분석하였다. 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 수평형 지중열교환기에 열응답시험과 선형열원법을 적용하기 위해 초기제외시간을 분석하고 지중열교환기의 길이를 수정하여 사용한 결과 수평형 지중열교환기의 10월 지중 열전도율은  $1.54 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ 로 나타났다.
2. 연중 수평형 지중열교환기의 지중온도 및 지중 열전도율을 측정된 결과 지중온도는  $3 \sim 24 \text{ }^\circ\text{C}$  범위에서 변화하였으며, 주변온도와 비교하였을 때 지중 최고/최저온도는 약 1달 후쯤 나타났다. 지중 열전도율은 연중  $1.43 \sim 1.64 \text{ W/m} \cdot \text{K}$  범위로 변화량이 비교적 작게 나타났으며, 대체적으로 가을-겨울 구간이 겨울-봄 구간보다 높게 나타났다.
3. 수직형 지중열교환기와 수평형 지중열교환기에 대한 부하시험을 수행하여 비교한 결과 수평형 지중열교환기의 일별 초기온도 변화는 수직형과 유사한 상승패턴을 보이나 6월과 9월은 초기온도 상승률이 수직형에 비해 크게 나타났으며 반면에 12월은 낮게 나타났다.

#### References

[1] Park. Y. J., and Kang. S. H., Performance analysis of the horizontal ground source heat pump for greenhouse , Proceedings of the SAREK, 2011, Winter Annual Conference, pp. 447-452, 2011.

[2] Sohn, B.G., Performance analysis of ground- coupled heat pump system with slinky-type horizontal heat exchanger, KJACR, Vol. 24. No. 3, pp. 230-239, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.6110/KJACR.2012.24.3.230>

[3] Sanner, B., Hellström, G., Spitler, J., and Gehlin, S., More than 15 years of mobile thermal response test - a summary of experiences and prospects, Proceeding European geothermal congress, Pisa, Italy, 2013.

[4] Gehlin S.E.A., Thermal response test - method development

and evaluation, PhD thesis, Lulea University, Sweden, 2002.

- [5] Beier RA, Smith M.D., Splitter J.D., Reference data sets for vertical borehole ground heat exchanger models and thermal response test analysis, *Geothermics* 40, pp. 79-85, 2011.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geothermics.2010.12.007>
- [6] Lee, S.K., Woo, J.S., and Kim, D.G., A study of determining initial ignoring time of line source model used in estimating the effective soil formation thermal conductivities. *Journal of Energy Engineering*, Vol. 17, No. 3, pp 167-174, 2008.
- [7] Chang, K.S. and Kim, M.J., A study on the determining initial ignoring time for the analysis of ground thermal conductivity of SCW type ground heat exchanger, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, 26(10), pp. 453-459, 2014.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.6110/KJACR.2014.26.10.453>

**김 영 재(Young-Jae Kim)**

[정회원]



- 1980년 2월 : 연세대학교 화학공학 (공학사)
- 1982년 2월 : KAIST 화학공학(공학석사)
- 1982년 3월 ~ 1987년 10월 : 대림엔지니어링 과장
- 1991년 10월 : 독일 도르트문트대학교 (공학박사)
- 1992년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 환경생명화학공학과 교수

<관심분야>

화학공학 및 열유체 시스템 설계

**장 근 선(Keun-Sun Chang)**

[정회원]



- 1979년 2월 : 서울대학교 기계공학 (공학사)
- 1986년 5월 : 미국 루이지애나주립대 기계공학 (공학석사)
- 1989년 8월 : 미국 루이지애나주립대 기계공학 (공학박사)
- 1989년 10월 ~ 1995년 2월 : 한국원자력연구소 선임연구원(실장)
- 1995년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 기계공학부 교수

<관심분야>

냉동공조 열교환기 및 시스템 설계

**김 민 준(Min-Jun Kim)**

[정회원]



- 2004년 2월 : 명지대학교 기계공학과 (공학사)
- 2007년 8월 : 한국기술교육대학교 산업공학과 (공학석사)
- 2005년 6월 ~ 2008년 8월 : 한국생산기술연구원 연구원
- 2008년 9월 ~ 현재 : 한국냉동공조인증센터 책임연구원
- 2013년 2월 : 선문대학교 기계공학과 박사수료

<관심분야>

냉동공조 시스템 및 지열 히트펌프 시스템 설계, 지중열교환기