

지하수 열원 열펌프 개발을 위한 지하수 온도의 변화 특성 연구

남현규, 김영일[†], 서정아*, 신영기*

한국과학기술연구원 열유동제어연구센터, [†] 서울산업대학교 건축학부, *세종대학교 기계공학과

A Study on the Variation of Ground Water Temperature for Development of Ground Water Source Heat Pump

Hyun Kyu Nam, Youngil Kim[†], Joung Ah Seo*, Younggy Shin*

Thermal/Flow Control Research Center, KIST, Seoul 136-791, Korea

[†]School of Architecture, Seoul National Univ. of Technology, Seoul 139-743, Korea

**Department of Mechanical Engineering, Sejong University, Seoul 143-747, Korea*

Abstract

Ground water source heat pumps are clean, energy-efficient and environment-friendly systems for cooling and heating. Although the initial cost of ground water source heat pump system is higher than that of air source, it is now widely accepted as an economical system since the installation cost can be returned within a short period of time due to its high efficiency. In a ground water source heat pump system, the variation of the ground water temperature is an important factor that influences the system performance. In this study, variation of the ground water temperature of a single well system is studied experimentally for various operating conditions. When ground water flow exists in the underground, the returned water exchanges heat efficiently with the ground and the temperature of the ground water remains nearly constant. Hence the short circuit problem is minimized. If an active flow of ground water flow exists in the underground, a single well heat pump system will be free of short circuit problem and can operate with high performance.

Keywords: Ground water, Heat pump, Temperature, Heat transfer, Single well, Short circuit

기 호 설 명

T : 온도 [°C]

L : 깊이 [m]

1. 서론

지열원 시스템은 열펌프와 함께 사용되는 열원의 종류에 따라 크게 2가지로 분류될 수 있다. 배

관을 지중에 설치하여 배관 내에 2차 유체를 순환시키는 폐회로(closed loop) 방식과 지하수나 지표수를 직접 사용하는 개회로(open loop) 방식이다. 대부분의 지열원 시스템은 폐회로 방식을 사용하고 있으나, 지하수가 풍부한 국내 여건상 지하수를 직접 이용하는 지하수 열펌프 시스템에 대한 연구가 필요한 시점이다[1,2].

지중의 온도는 Fig. 1과 같이 깊이 10 m만 되도 연중 온도 변화가 매우 적다[3]. 지하수 열펌프는 이와 같이 연중 온도가 일정한 지하수를 이용하는 시스템으로 청정하고, 환경친화적인 장점이 있다. 지하수를 이용한 열펌프 시스템은 일반적인

[†] Corresponding author

Tel. : +82-2-970-6557; Fax : +82-2-974-1480

E-mail: yikim@snut.ac.kr

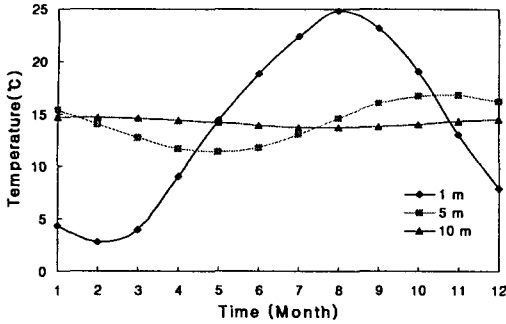


Fig. 1: Monthly soil temperature variation at several depths (Seoul).

공기 열원 열펌프 시스템에 비해 초기 설치비는 높지만 열효율이 높아 단기간 내에 설치비를 회수할 수 있는 경제적인 시스템이다. 지하수 열원 열펌프는 공기 열원 열펌프 시스템에 비하여 성능이 향상되어 냉난방에 소요되는 에너지가 대폭 절감된다고 알려져 있으나 아직 국내에서는 객관적이고 신뢰성 있는 자료가 없는 상태이다.

지하수 열펌프 시스템에서 지하수의 온도 변화는 시스템 성능에 큰 영향을 주는 중요한 인자이다 [4,5,6]. 특히, 단일 취수정(single well) 사용시, 지하로 귀환되는 귀환수의 온도에 따른 지하수 온도 변화는 시스템 성능에 큰 영향을 미치는 매우 중요한 변수이다. 만약 귀환되는 물과 추출되는 물이 단락회로(short circuit)를 형성하면 추출되는 물의 온도가 변화하여 시스템의 성능이 저하하므로 장기간 사용할 수 없는 문제점이 발생한다. 따라서 본 연구에서는 귀환수의 온도 변화에 따른 취수정 수심별 온도 변화를 측정하여 지하수 온도 특성 파악을 목적으로 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

실험은 2004년 서울시 성북구 하월곡동 39-1 한국과학기술연구원 L4 건물 뒤쪽에서 이루어졌다. 실험장치는 취수정에 설치된 센서부분 및 데이터 측정, 제어장치인 PLC 부분과 양수 및 귀환 펌프 시스템으로 이루어진다. 센서부분은 Fig. 2와 같이 총수심이 105 m인 취수정에 온도 센서, 수위 센서,

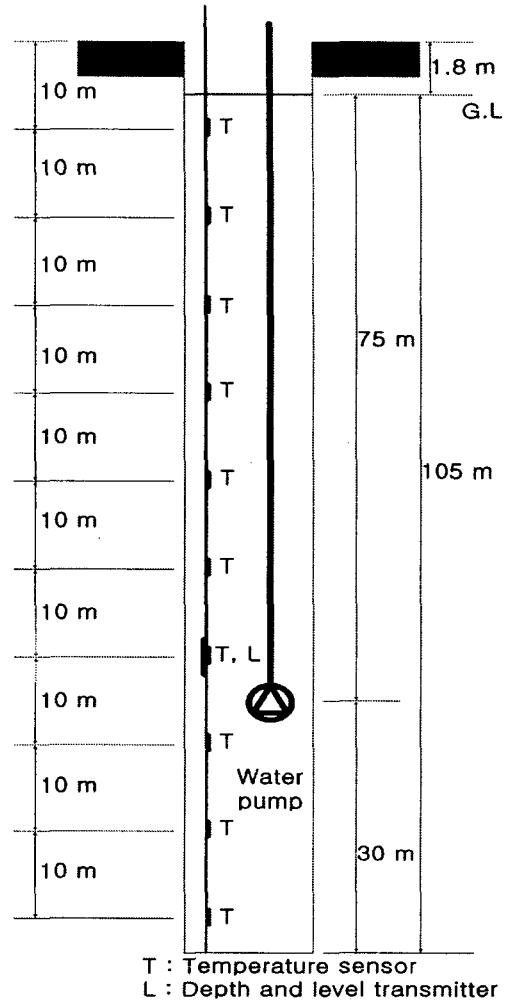


Fig. 2. Position of sensors.

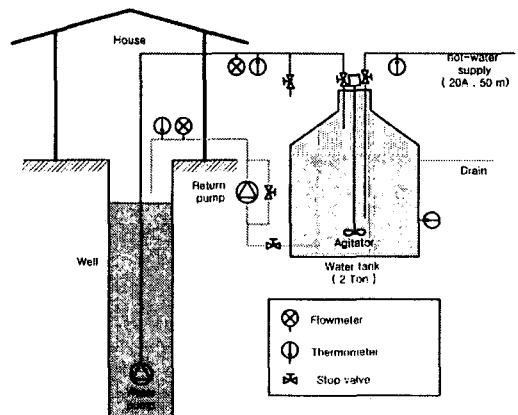
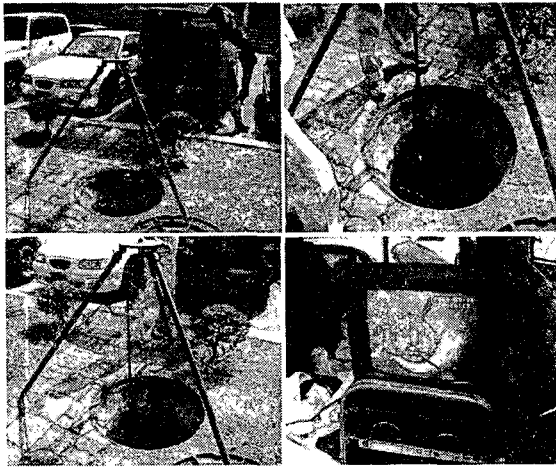


Fig. 3. Schematic of experimental apparatus.



수중펌프를 설치하여 양수 및 귀환시각 심도별 온도 및 수위 변화를 실시간으로 측정할 수 있도록 하였다. 양수 및 귀환 시스템은 Fig. 3과 같이 실험 장치를 제작하였다.

취수정은 공내 촬영 결과 Fig. 4에 나타난 것과 같이 연암층인 6, 8, 13 m에 파쇄대가 발견되었으며 이부분이 주대수층으로 사료되고, 경암층인 42, 72 m에서도 파쇄대가 발견되었지만 지하수의 흐름은 적은 것으로 사료되었다.

2.2 실험방법

지하수 열펌프 시스템의 성능을 결정하는 가장 중요한 부분은 지하수 온도이며, 본 연구에서는 귀환수 온도 및 유량에 따른 지하수 온도 변화를 측정하였다.

실험은 냉방을 기준으로 실험하였으며 실험은 Table 1과 같이 A 방식과 B 방식으로 하였다. A 방식은 귀환수와 양수량을 일정하게 하고 귀환수의 온도를 22, 38, 43℃로 변화시키며 지하수 온도를 측정하였다. 그리고 B 방식은 귀환수의 온도를 일정하게 유지시키고 귀환수의 유량을 70, 85, 100 lpm으로 변화시키며 실험하였다.

3. 실험결과

A 방식, B 방식 실험을 수행한 결과 A, B 방식 모두에서 수직온도 변화 양상은 비슷한 경향을 보였으며 열전달이 활발하게 이루어진 구간은 수심 0 ~ 20 m 구간이었다. 구체적인 실험 결과는 다음과 같다.

Fig. 5는 양수 및 귀환수 유량을 70 lpm으로 하고 귀환수 온도를 22℃로 하였을 경우, 유량을 100 lpm으로 하고 귀환수 온도를 22℃로 하였을 경우

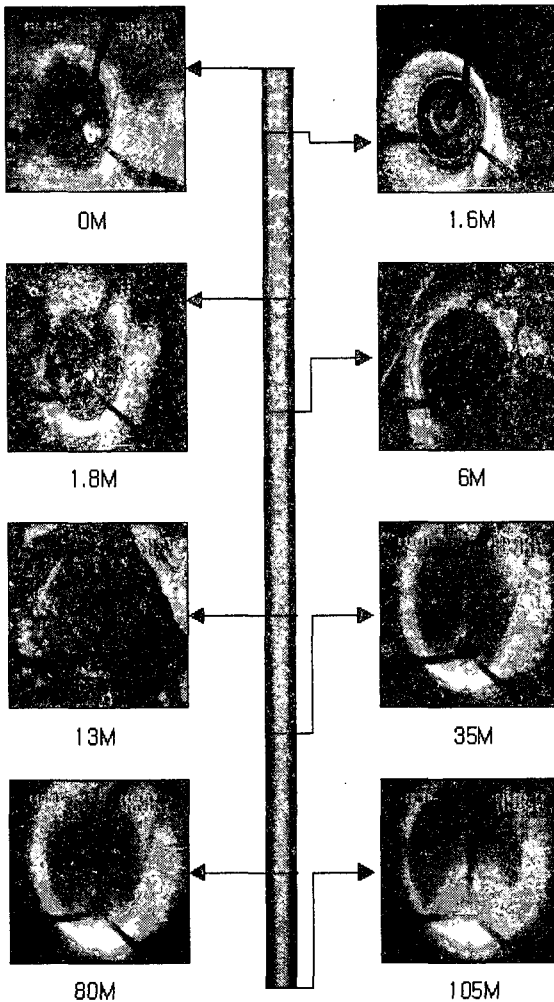


Fig. 4. Camera monitoring of well.

Table 1. Conditions of experiment A and B.

Type	Flow rate (lpm)	Return water temperature (°C)
A	70	22
		38
		43
B	70	22
	85	
	100	

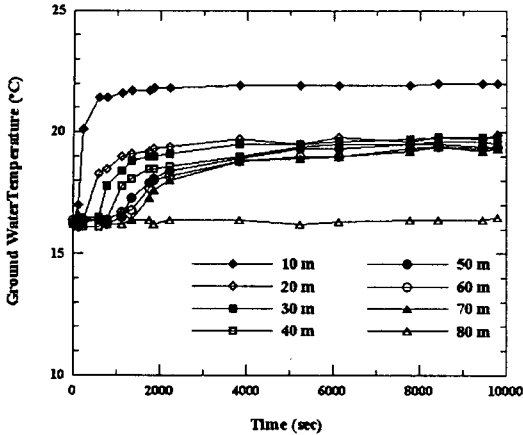


Fig. 5a. Variation of ground water temperature (Flow rate: 70 lpm, Return water temperature: 22°C).

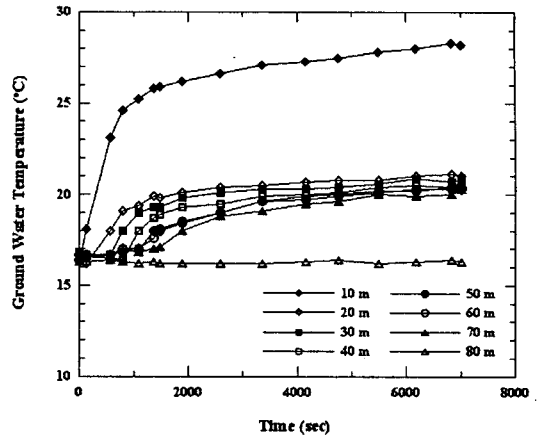


Fig. 5c. Variation of ground water temperature (Flow rate: 70 lpm, Return water temperature: 38°C).

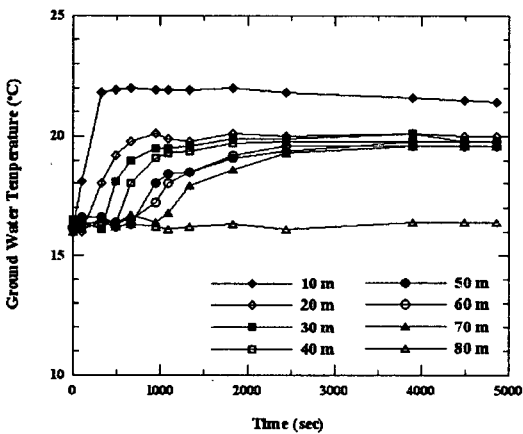


Fig. 5b. Variation of ground water temperature (Flow rate: 100 lpm, Return water temperature: 22°C).

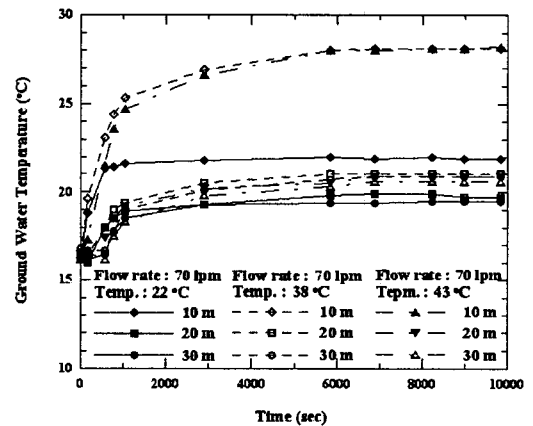


Fig. 6. Variation of ground water temperature (Flow rate: 70 lpm).

그리고 유량을 70 lpm으로 하고 귀환수 온도를 38°C로 하였을 경우 취수정의 수직 온도 분포를 보여주는 그래프로서 수심 20 m 이내에서 대부분의 에너지가 지중으로 투입됨을 보여주고 있다. 펌프 위치는 지상으로부터 75 m에 설치되어 있어 펌프보다 낮은 80 m에서는 지하수 온도가 일정하게 유지되고 있다.

Fig. 6은 양수 및 귀환수 유량을 70 lpm으로 일정하게 유지시키고 귀환수 온도를 22, 38, 43°C로 하였을 경우 수심 10, 20, 30 m의 온도 변화를 나타낸 그래프이다. 투입되는 귀환수의 온도를 변화시켰을 경우 수심 10 m에서는 온도 변화가 발생하였으나 수심 20 m 이후부터는 온도 변화가 미미함을

보여주고 있다.

Fig. 7은 귀환수의 온도를 22°C로 일정하게 유지시키며 양수 및 귀환수의 유량을 70, 85, 100 lpm으로 하였을 경우 수심 10, 20, 30 m의 온도 변화를 나타낸 그래프로 각 지점의 온도는 같고 온도 변화가 시작되는 시점이 유량이 증가할수록 빨라짐을 나타낸다.

Fig. 8은 수중 펌프가 설치된 지점인 약 70 m 지점의 온도, 양수된 물의 온도 및 10 m 지점의 온도를 나타낸 그래프이다. 양수가 시작되는 70 m 지점의 온도보다 양수된 온도가 높다. 이것은 지하수가 양수되면서 온도가 높은 주위의 지하수와 열교환을 하고 있음을 보여준다. 이러한 사실은 양수 파이프

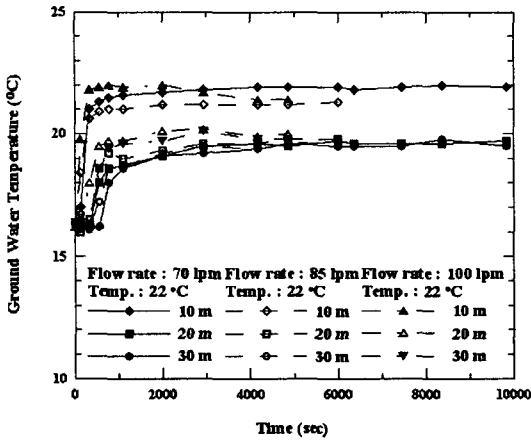


Fig. 7. Variation of ground water temperature (Return water temperature : 22°C).

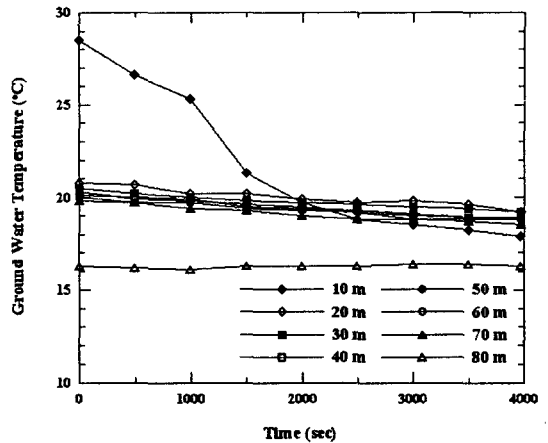


Fig. 9. Recovery of ground water temperature (Flow rate : 70 lpm, Return water temperature : 38°C).

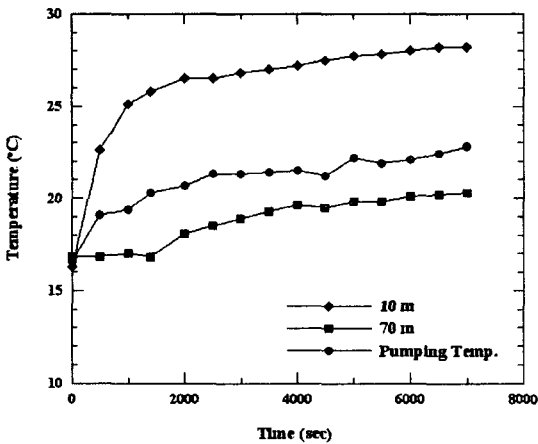


Fig. 8. Variation of ground water temperature (Flow rate : 70 lpm, Return water temperature : 38°C).

를 단열 하거나, 열전달 계수가 낮은 재료의 파이프를 사용하여야 함을 보여준다.

Fig. 9는 취수정에 70 lpm, 38°C의 귀환수를 귀환시켜 실험을 수행한 직후 펌프를 중단시키고, 시간에 따른 취수정 내의 지하수의 수직 온도 분포를 측정하여 지하수의 온도 회복 특성을 나타낸 그래프이다. 수심 10 m 지점의 온도 회복은 수심 20~70 m 보다 매우 빨리 이루어지고 있다. 이는 10 m 지점에서 지하수의 수평 흐름이 활발히 이루어지고 있기 때문에 많은 양의 열이 지하수와 함께 주변의 지층으로 유입된 것으로 사료된다. 수심 20~70 m 지점에서는 지하수의 흐름이 없어 전도에 의한 열

전달만 일어나서 온도 회복 속도가 느린 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 단일 취수정의 지하수를 열원으로 하는 열펌프를 개발하기 위한 사전 연구이다. 지하수를 사용한 후 온도가 변화된 지하수를 지층으로 귀환시 지하수의 수직 온도 분포의 변화 특성을 실험으로 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 본 실험 대상의 취수정은 연암층인 6, 8, 13 m에 파쇄대가 발달하였고 이 부분이 주대수층으로 판명되었고, 경암층인 42, 72 m에서도 파쇄대가 발견되었지만 지하수의 흐름은 적다.

(2) 심도가 낮고 수직절리가 발달한 연암층 구간의 파쇄대에서 지하수 흐름에 의해 에너지가 지층으로 유입된다. 또한 지하수 흐름에 의한 대류열전달 및 지하수와 귀환수의 큰 온도 차이에 의해 활발한 전도열전달로 투입되는 대부분의 에너지가 지층에 흡수된다. 따라서 취수정 지하수 온도회복 실험에서도 10 m 지점이 가장 빨리 회복하는 특성을 보여 주고 있다.

(3) 심도가 깊은 경암층 구간은 수직절리가 발달하지 않아 파쇄대에서도 지하수의 흐름이 활발하지 않아 전도에 의한 열전달만이 일어나고, 또한 온도차이도 작아 전도열전달도 활발히 일어나지 않았다.

(4) 양수되는 물은 배관 주위의 지하수와 열전달을 하여 온도가 상승한다. 이를 방지하기 위해서는 양수 배관의 단열도 지하수 시스템 성능 향상에 중요한 요소이다.

(5) 지구물리탐사를 통하여 지하수의 위치, 지질 구조를 파악하고 지하수의 흐름이 활발한 곳에서는 단일 취수정 지하수 열원 열펌프 시스템이 높은 성능을 확보할 수 있다고 생각된다.

(6) 수직절리가 발달한 지형이라면 인공적으로 파쇄대를 만들어 시스템의 성능을 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Moon, Y. C., 2003, Technology of ground Water Source Heat Pump system, KARSE, Vol. 20, No. 7, pp. 125-135.
2. Kim, Y. I., 2003, Simulation of Air / Geothermal / Ground Water Source Heat Pump, KARSE, Vol. 20, No. 7, pp. 92-100.
3. Kavanaugh, S. P. and Rafferty, K., 1997, *Ground-Source Heat Pump: Design of Geothermal Systems for Commercial and Institutional Building*, ASHRAE.
4. Bose, J. E., Parker, J. D. and McQuiston. F. C., 1985, *Design/Data Manual for Closed-Loop, Ground-Coupled Heat Pump Systems*, ASHRAE.
5. Yavuzturk, C. and Chiasson, A. D., 2001, Performance Analysis of U-tube, Concentric Tube, and Standing Column Well Ground Heat Exchangers Using a System Simulation Approach, ASHRAE Transaction, Vol. 108 No. 1, pp. 925-938.
6. Chang, Y. S., 2003, Geothermal Heat Exchanger, KARSE, Vol. 20, No. 7, pp. 101-108.