대한설비공학회 2008 하계학술발표대회 논문집 pp. 1347 ~ 1352

08-R-002

소규모 SCW 지중열 시스템의 난방시 지하수 온도 변화 특성에 관한 연구

양 승 진, 이 원 호, 김 주 영, 홍 원 화, 안 창 환*
경북대학교 건축·토목 공학부, *대구공업대 건축설비소방안전학과

A Study on Specific of Ground Water Temperature Changes of the Small Scaled SCW GWHP System in Case of Heating

Seung-jin Yang, Won-ho Lee, Ju-young Kim, Won-hwa Hong, Chang-whan Ahn*
Department of Architecture Engineering, Kyungpool national university, Deagu 702-701, Korea
**Department of Architecture Facility Safety, Daegu technical college, Daegu 704-721, Korea*

(Received April 6, 2008; revision received April 14, 2008)

ABSTRACT: The SCW ground heat pump system releases ground energy from the ground water of ground heat exchanger. In other word, ground water is used to heating through releases ground energy which oneself has. But the thermal efficiency of system is going to down because repetitive process of ground water will lost ground energy in standing column well system and if heating load is continually increase, energy of ground water may be frozen or there are no benefits to use ground energy as it owes just little energy. To solve these problems, there are need to exchange water to the ground heat exchanger then the way will be used to maintain Efficiency continually as the way of to be supplied with fresh ground water into ground heat exchanger. However, this type causes waste of ground water. Therefore it is essential to discharge water to outside timely on a heat exchanger.
Therefor through a study, find out the best time to discharge water to outside and exchange water to ground heat exchanger, and propose to the DB of design of the ground heat exchanger.

Key words: Standing Column Well(SCW), Ground Water Heat Pump(지하수열원 히트펌프), Well(관정), Recovery Temperature(온도회복)

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

Standing Column Well GWHP(지열히트펌프) 시스템은 하나의 관정에서 지하수의 공급과 회수가 이루어져 지하수의 순환을 통해 냉·난방이 이루어진다. 난방운전의 경우 관정에서 기계실의 2차 열교환기로 지하수를 공급하여 지하수열을 사용하고 다시 같은 관정으로 열을 빼앗긴 지하수를 회수하게 된다. 이 과정의 반복을 통해 SCW 지열히트펌프 시스템으로 유입된 지하수는 본연의 지중열을 잃게 되어 시스템의 열 효율성이 떨어진다. 이러한 난방부하가 지속될 경우 지하수

가 가진 지중 열을 이용하는 이점을 잃게 될 뿐만 아니라 저온의 지중 열이 히트펌프에 지속적으로 공급됨에 따라 히트펌프에 동결이 발생할 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 회수되어지는 지하수(이하 귀환수)를 외부로 흘려보내고 관정 내로 새로운 지하수를 공급받아 지하수 온도를 일정하게 유지 시키는 방법(이하 Bleeding)이 있다. 하지만 이러한 방법은 지하수 자원을 낭비하게 된다. 따라서 지하수 낭비를 최소화 하면서 히트펌프로 공급되는 열원의 온도를 일정하게 유지시키기 위해 경우에 따라서 Bleeding이 필요하다. 그러므로 Bleeding 유무에 따른 관정 내 지하수 온도 변화에 관한 선행 연구가 필요한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 지열히트펌프 시스템 설치 방법 중 하나인 SCW 방식의 난방 운전 시 Bleeding 유무에 따른 관정 내 지하수 온도변화에 대한 실증연구를 통하여 운전방법에 따른 지하수 온도변화 특성을 분석하고 향후 SCW 지열히트펌프 시스템 설계에 기초자료를 제시하고자 한다.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 SCW 타입 지열히트펌프시스템의 난방운전 시 관정 내 지하수의 온도 변화 특성을 연구하기 위하여 다음과 같은 방법으로 연구를 진행하였다.

1) SCW 지열히트펌프 시스템 실험 대상 건물 선정.
2) 실험 대상 건물 및 시스템의 개요.
3) 실험 계획 수립 및 데이터 해석방법 고찰.
4) 관정 내에 온도측정 장비 설치.
5) 측정 결과를 통한 관정 내 지하수 온도 변화 특성 분석.

2. 실험대상의 개요 및 실험방법

2.1 실험대상건물 및 시스템 개요

2.1.1 실험대상건물의 개요

본 실험의 대상 건물은 대구광역시 북구 산격동에 위치한 지하 1 층 지상 5 층 규모의 RC조 건물로써, 1~3 층과 지하 1 층은 상가로 이용되고 있으며, 4 층과 5 층은 복층으로 1 세대가 거주하고 있다. 1~3 층은 개별 냉난방이며, 4 층과 5 층만이 지열히트펌프 시스템을 사용하고 있어 실제 지열시스템을 사용하는 연면적은 231 ㎡이다. 기계실은 지하 1 층에 위치하고 있으며, 온수는 태양열 및 심야전기를 이용하고 있다.

Table 1 Summary of the test building

	Description
Location	San-gyuk dong, Buk-gu, Daegu city
Structure	RC Structure
Name of facility	U-building
Area	231 ㎡
Facility use	1~3 floor B 1 F : store 4~5 floor : Residence (1 house)

2.1.2 지열히트펌프 시스템 개요

본 실험 대상 건물의 난방시스템은 천장형 난방 시스템과 바닥 난방시스템으로 이루어져 있으나 바닥 난방만 실시하였다. 총 난방면적은 231 ㎡로 4 층의 거실과 주방, 방 4 개 그리고 5 층의 안방과 서재, 거실에 난방을 하고 있다.

지열히트펌프 시스템은 2005 년 11 월에 설치된 것으로 지하수를 끌어올려 지하수열을 추출하여 사용한 후, 사용한 지하수는 다시 관정의 상부구간으로 재투입시키는 SCW 시스템으로 크게 히트펌프, 2 차열교환기, 순환펌프로 구성되어 있다.

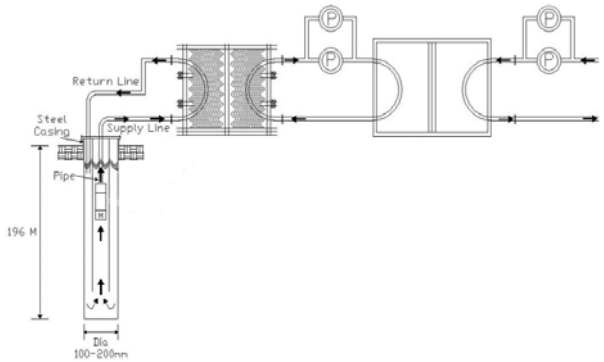

Fig. 1 Distrubution of the test building.

지열 공급을 위한 관정은 총 깊이 196 m의 1공이 있는데, 공급관의 60 m 부분에 지하수를 공급하기 위한 양수펌프가 달려있다. 히트펌프의 냉동능력은 4.1 Rt이고, 냉방능력은 26,700 kcal/h, 난방능력은 32,000 kcal/h이다.

지열히트펌프 내 작동유체는 순수한 물이며, 순환펌프로 2 차 열교환기 측에 2 대, 히트펌프 측에 2 대가 설치되어 있는데, 실제 운전은 각 1 대식만 하며 나머지 2 대는 Bypass용이다. 그림 1 은 실험대상건물의 시스템 계통도이며, 표 2 는 지열히트펌프 시스템의 개요이다.

2.2 실험 장치 및 실험 방법

2.2.1 실험 장치

본 연구에서는 난방 시 관정 내 지하수의 온도 변화를 알아보기 위하여 관정의 심도에 따라 온도 변화 측정 장치를 설치하였다.

Table 2 Summary of the ground heat pump system

			Description
Heat pump	Foundation		November, 2005
	capacity	Cooling	26,700 kcal/h
		Heating	32,000 kcal/h
	Form of heat pump		Water to water
	the way of application		Cooling · Heating
	Area of air conditioning		231 ㎡
Well	Diameter		200 mm
	Deepness of interpenetration		196 m
	The number of items		1
2차 Heat exchanger	Formality		Format
	Amount of electric heat		35,140 kcal/h
Pump	Circulation pump	Power	0.6 kW
		The number of items	2(Bypass 1)
	Cool · hot-water Circulation pump	Power	0.6 kW
		The number of items	2(Bypass 1)

총 깊이는 196 m이며 60 m 깊이에 수중모터가 설치되어 있는 관정에 1 m, 3 m, 5 m, 10 m, 20 m, 30 m, 40 m, 50 m, 60 m의 총 9 포인트로 열전대(Thermocouple, T type)를 설치하고, 지열히트펌프의 입·출구와 지열공급을 위한 관정의 입·출구, 그리고 Supply 및 Return 에도 온도를 측정하기 위해서 각각 열전대를 설치하였다. 설치한 열전대를 데이터 로거(Agilent 34970 A)에 연결하고 데이터로거를 노트북에 연결하여 데이터를 저장시킬 수 있도록 하였다.

2.2.2 실험 방법

Bleeding 유무에 따른 지하수 온도 변화에 대해 알아보기 위하여 귀환수의 처리방법을 달리하였다.

귀환수를 지열공급을 위한 관정(Well)으로 재투입하여 운전하는 방법, 그리고 Bleeding 하여 운전하는 방법으로 나누어 실험을 수행하였다.

귀환수를 관정으로 재투입하는 운전방법은 3 월 7 일 오후 8 시 12 분부터 3 월 8 일 오전 9 시 00 분까지 수행하였고, Bleeding 하는 운전방법은 3 월 8 일 오후 8 시 16 분부터 3 월 9 일 오전 9 시 14 분까지 수행하였다. Bleeding 운전에 앞서 귀환수를 관정으로 재투입 하는 운전을 2 시간 30 분가량 수행하여 지하수 온도를 충분히 떨어뜨린 후 Bleeding rate는 100%로 하여 운전을 수행했다.

실내온도는 20~22℃로 설정하였고, 4 층과 5 층 전체를 바닥 난방을 하여 실험을 수행하였다.

관정 내의 지하수 온도의 측정은 2 월부터 실험이 있었던 3 월 9 일까지 1 분 간격으로 측정하였다.

3. 실측결과 및 분석

3.1 지중온도분포

그림 2 는 3 월 3 일(09:00~18:00) 비 운전 시의 관정 내 지하수의 심도에 따른 온도변화를 나타내고 있다. 10 m 이하에서는 지하수 온도가 어느 정도 일정하게 유지되는 것으로 보아 5~10 m에 지하수의 자연수위가 형성되어 있다는 것을 알 수 있다. 10 m 이상의 깊이에서는 15.5~16.

1℃로 1℃내로 온도의 변화가 미미함을 알 수 있다.

지하 5 m 지점에서의 온도는 외기의 온도변화에 다소 영향을 받지만, 외기 온도가 변동하는 것과 비교하면 상대적으로 안정적이다. 또한 측정기간 동안 지하 10 m 이하의 지중온도는 깊이 및 외기 온도의 변동에 상관없이 거의 일정한 값을 보이고 있다. 10~60 m에서 측정된 지하수의 평균온도는 15.8℃로 나타났다.

3.2 운전방법에 따른 지하수의 온도변화 및 온도회복속도 분석

3.2.1 귀환수를 관정으로 재투입

그림 3은 귀환수를 관정으로 재투입했을 경우의 지하수온도변화를 나타낸 것이다.

관정 내 10~60 m의 지하수 온도가 첫 가동에서 11.4℃까지 떨어졌고, 귀환수를 관정으로 재투입하는 운전을 완전히 정지했을 때 8.5℃까지 떨어졌다.

3.2.2 Bleeding

귀환수를 관정으로 재투입하는 운전 이후 운전이 완전히 멈춘 상태에서 지하수 온도의 변화와 Bleeding 했을 경우 지하수 온도의 변화를 비교해 보기 위하여 귀환수를 관정으로 재투입하는 운전에서의 2 차열교환기로 공급되는 지하수(이하 공급수)의 최저온도인 8.5℃가 되었을 때 Bleeding 운전을 수행하였다. 이때 지하수온도변화를 나타낸 그래프는 그림 4 와 같다.

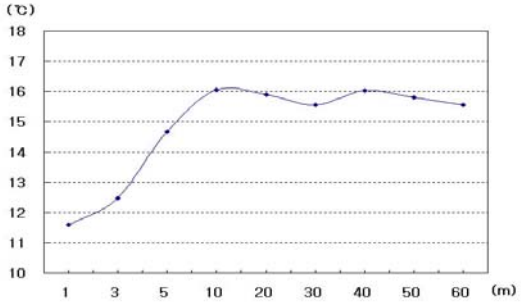

Fig. 2 Temperature distribution followed by deepness

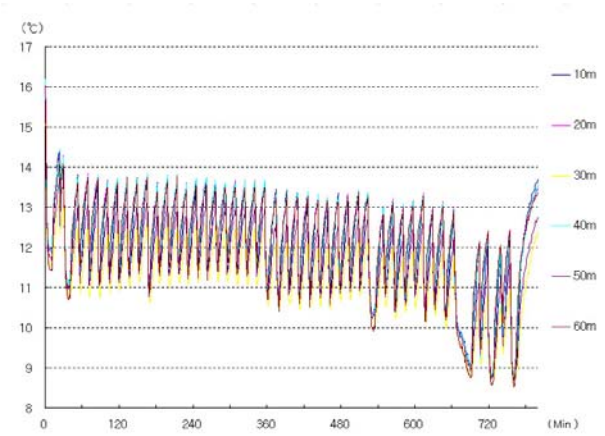

Fig. 3 The change of ground water temperature when re-throw returning water to the well

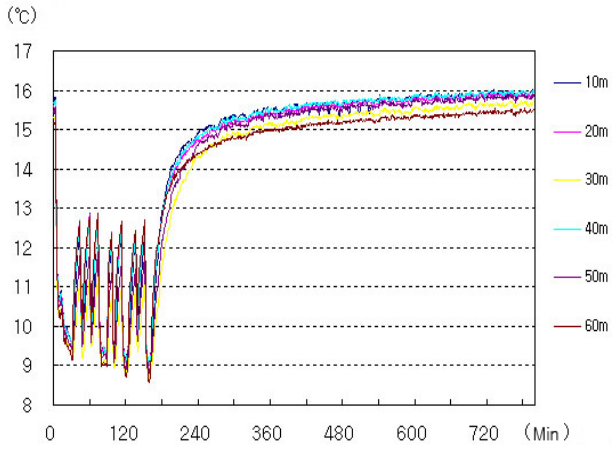

Fig. 4 The change of ground water in case of Bleeding operation

귀환수를 관정으로 재투입해서 떨어진 지하수 온도가 Bleeding함으로써 점점 상승함을 알 수 있다. Bleeding 후 약 2 시간동안 10~60 m 내의 지하수 온도가 급격히 상승하여 14℃이상을 유지하였다. 이후 온도가 서서히 상승하여 Bleeding하여 운전을 시작한 14 시간 이후에는 온도가 15.5~16.3℃정도로 복원되는 것으로 나타났다.

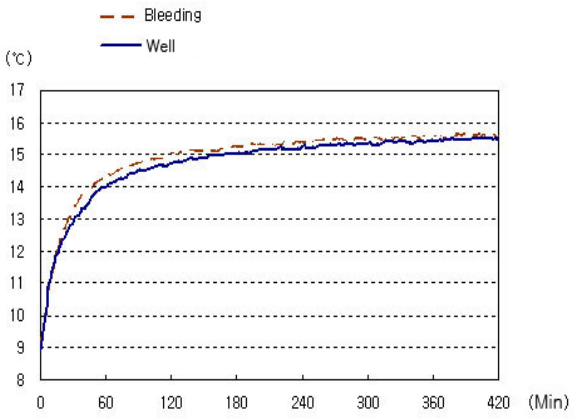

Fig. 5 Recovery of the ground water temperature in case of Bleeding and natural ground water Recovery

3.2.3 운전방법에 따른 온도분석

본 지열히트펌프 시스템의 관정에서 2 차열교환기로 공급되는 지하수와 환수되는 지하수의 온도차는 약 3.9℃ 인 것으로 나타났다. 이는 2 차열교환기로의 공급수가 약 4℃ 일 경우 회수되어지는 귀환수의 온도는 약 0℃가 된다는 것을 의미한다. 0℃의 귀환수가 관정 내로 지속적으로 투입된다면 0℃이하로 저감된 열원이 히트펌프로 지속적으로 공급되어 히트펌프가 동결될 우려가 있다. 그러므로 본 지열히트펌프 시스템의 관정으로부터 2 차열교환기로 공급되는 공급수의 온도가 약 5℃로 떨어질 때까지가 본 지열히트펌프 시스템의 최대운전시간이 될 것이다.

귀환수를 관정으로 재투입하여 운전하다가 다시 Bleeding하여 운전한 경우와 운전을 멈추고 자연회복되는 경우의 지하수 온도변화는 그림 5 과 같다.

Bleeding의 경우 귀환수를 관정으로 재투입할 때보다 지하수 온도 회복이 빠른 것으로 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 Bleeding의 유무에 따라 SCW 형식 지열히트펌프 시스템의 관정 내 지하수 온도 변화 특성에 관한 연구를 수행하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 관정의 심도 약 10 m까지는 온도가 상승하다가 10 m 이상의 심도에서는 일정한 수온을 유지하는 것으로 나타났다.

2) 지열히트펌프 시스템의 2 차열교환기로의 공급수의 온도가 5℃로 떨어질 때까지가 본 지열히트펌프 시스템의 최대운전 시간인 것으로 나타났다.

3) 귀환수를 관정으로 재투입하는 운전 이후 관정 내 지하수 온도의 자연회복속도보다 Bleeding을 수행하는 운전에서의 온도회복속도가 더 빠른 것으로 나타났다.

본 실증연구를 통하여 SCW 형식 지열히트펌프 시스템의 지하수 온도 변화 특성을 확인하였다. 귀환수를 관정으로 재투입하는 운전을 통하여 2차 열교환기로 공급되는 지하수의 온도가 떨어질 경우 Bleeding을 통하여 지하수 온도를 회복시켜 연속부하와 피크부하에 대응할 수 있을 것이고, 효율도 높아질 것이다. 이를 위해 자동적으로 Bleeding이 수행되는 시스템이 필요할 것이다.

본 연구와 같은 Bleeding 유무에 따른 지하수의 온도변화 뿐만 아니라 Bleeding rate에 따른 온도변화, 연속운전에 따른 온도변화 등과 같은 연구가 장기적으로 지속되어야 한다. 추후에는 이와 같은 연구를 수행하고자 한다.

참고문헌

1. Jung-whan Park, et al, 2008, Research on the Cooling Performance Evaluation of Groundwater Heat Pump System for Residence House , Architectural institute of KOREA, v.24 n.3(2008-03)

2. Hyun-jun Shin, et al, 2005, Construction of Performance Evaluation Methods and Technical Standards for Ground Source Heat Pump Systems

3. Ministry of Commerce, Industry and Energy, 2006, Apractical Study on the Ground Heat

Pump with Standing Column Well, 2006.

4. Ministry of Commerce, Industry and Energy 2005, A Study on the Performance Evaluation and Engineering Technology of Geothermal Heat Pump System.

5. Gil-tae, Kim, et al, 2007, Economic Analysis of Heat Pump System through Actual Operation, the society of air-conditioning and refrigerating engineers of KOREA, v.19 n.6(2007-06)

6. Byung-hu Son, et al, 2004 Comparative Analysis of Life-Cycle Costs of Ground Source Heat Pump and Conventional HVAC System, the society of air-conditioning and refrigerating engineers of KOREA

7. Yong-sick Kim, et al, 2006, Evaluation on the Cooling Performance of Geothermal-energy Using Heat Pump System in Mixed-use Residential Building, the Korea Solar Energy Society, v.26 n.4(2006-12)

8. Tai-won Kim, 2006. The Korean Society New and Renewable Energy, Evluation of Underground Water Environmental Effects on Performance of the Goe-thermal Heat Pump.

9. EPA, 1993, Space Conditioning : The Next Frontier. Office of Air and Radiation, 430-R-93-0044(4/93), EPA, Washinton, D.C.

10. Sun-jung, You, et al. 2007, Research on the Temperature Recovery Time in Well of Geothermal System Using Standing Column Well in Case of Cooling.

11. Kavanaugh S. P. and Rafferty K., 1997, Ground source heat pump - Design of geothermal systems for commercial and institutional buildings, Proceedings of the ASHRAE, Atlanta Georgia, pp. 72-1131.