

유출지하수 열원 지열히트펌프용 Pond Loop 열교환기의 열전달 성능

Heat Transfer Performance of Pond Loop type Heat Exchanger for Ground Source Heat Pump using Extruding Ground Water

박근우*, 김윤호*

Geunwoo Park, Yoonho Kim

Abstract - 유출지하수나 지표수를 열원으로 하는 지열히트펌프의 기초자료로 활용하기 위하여 Pond Loop형 열교환기를 설계, 제작하여 유동이 없는 수조 내에서 수조의 온도가 변화함에 따라 일정한 열교환기 입구온도를 유지하면서 열전달량을 측정하였다. 그 결과 수조를 Heat Source로 사용하는 경우 5,500~4,500 kcal/h의 열량이 전달되었고, 수조를 Heat Sink로 사용할 경우 5,200~3,500 kcal/h의 열량이 전달되었다. 또한 열교환기 관내 유속이 증가함에 따라 열전달량이 증가하는 경향성을 확인할 수 있었고, 이는 동시에 열교환기 입출구의 차압을 증가시킴을 알 수 있었다. 열교환기의 설계단계에서 사용하였던 열전달관계식으로 구한 총괄열전달계수, U와 실험값을 통해 유추한 U값을 비교한 결과 실험에 의해 유추된 U값이 24~27% 설계치보다 크게 나타났다. 본 연구를 통하여 유출지하수 뿐만 아니라 하수 및 하천수를 이용한 지열히트펌프의 기초자료를 확보할 수 있었다.

Key Words :Extruding ground water,Ground source heat pump, Pond Loop type heat exchanger,

1. 서 론

신재생에너지로 세계적으로 이용되고 있고, 향후 이용가능성이 높은 시스템 중의 하나가 지열히트펌프이다. 지열히트펌프는 적용현장에 수직형 또는 수평형의 지중열교환기를 배설해야하는 특성을 갖고 있다. 특히 우리나라와 같이 냉난방 수요지에 유흥공간이 적은 경우에는 천공 또는 트렌치 작업 등에 많은 애로사항이 있다. 도심지의 경우에는 이로 인해 지열히트펌프의 적용이 더욱 곤란해진다. 그러나 도심지나 중대형건물을 신축하는 경우 지하공간공사를 위해 터파기공사를 하면 지역에 따라 유출되는 지하수가 많은 경우가 있다. 지하철 역사나 지하수위가 낮은 지역의 건물의 지하에서는 연중 내내 지하수가 유출되고 있고 그 온도도 연중 10℃~18℃ 범위에서 일정하게 유지되고 있다. 이러한 유출수는 지열히트펌프의 유용한 열원이 될 수 있고 별도의 천공작업 없이 유출수를 모을 수 있는 적정크기의 저장탱크만 있으면 지열히트펌프의 설치, 운영이 가능하다. 이 때 지하수와 히트펌프 사이의 열전달을 위한 형태는 판형열교환기나 Shell & Tube열교환기를 사용할 수 있으나 이러한 Open 형태의 열교환기는 운전이 진행됨에 따라 배관과 열교환기에 스케일이나 부식 등이 발생하여 결과적으로 열전달효율을 낮추는 요인으로 작용할 수 있다. 지열히트펌프에서 지표수에 주로 이용하는 열교환기의 형태중에 Pond Loop형 열교환기가 있다. Pond Loop형 열교환기는 이용하는 물을 직접 끌어들이지 않는 Close type의 열교환기 형태이므로 운전이 진행됨에 따

른 관내 스케일로 인한 열전달저하현상이 없으며, 지표수와 같은 열원만 있다면 저렴한 비용으로 설치할 수 있다는 장점이 있다. Pond Loop형 열교환기는 미국 등지에서는 부분적으로 사용되고 있으나, 국내의 경우에는 사용한 예가 없고 이에 대한 기초자료가 부족한 상황이다. 따라서 본 연구에서는 이러한 유효지표수에 이용할 수 있는 Pond Loop형태의 열교환기의 열전달 성능을 실험을 통하여 파악하고 이를 토대로 설계의 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에서는 열전달관계식에 의해서 설계한 Pond Loop형 열교환기를 제작하였고, 열전달성능 파악을 위한 실험장치를 설치하여 실험을 진행하였다.

2.1 절 Pond Loop형 열교환기

Fig. 1은 본 실험에서 사용한 Pond Loop형 열교환기의 사진이다. 관의 재질은 PE이며 시중에서 흔히 구할 수 있는 X-L Pipe를 사용하였다. 열교환기의 형태는 원형으로 하였고 동일길이에 보다 Compact하게 제작하기 위해 radial 방향으로 4열, 수직방향으로 10열로 제작하였다. 또한 관 외측의 열전달 저하현상을 방지하기 위해 상하좌우로 10mm의 간격을 유지하도록 제작하였다.

2.2 실험장치

유출수를 저장하는 저장 탱크를 제작하여 지하수를 높이 1m 정도 채우고 자체 제작한 Pond Loop형 열교환기를 탱크의 중심부에 설치하였다. Pond Loop형 열교환기의 입출구 조건을 유지하기 위해 항온칠러를 설치하였고 이와 열교환을

저자 소개

* 박근우 : 삼양에코너지(주) 연구소장

* 김윤호 : 삼양에코너지(주) 대표이사

할 수 있도록 판형열교환기를 설치하였다. Pond Loop형 열교환기와 판형 열교환기의 입출구에 온도, 압력센서를 설치하고 질량유량계를 사용하여 열전달능력을 파악할 수 있도록 하였다. 또한 압력센서에 의해 Pond Loop형 열교환기와 판형열교환기의 압력강하 특성을 파악하였다. Table 1은 본 실험에 사용된 실험장치의 제원이다.

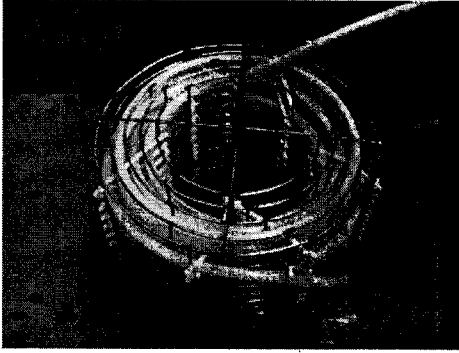


Fig. 1 Pond Loop type Heat Exchanger

Table 1 Experimental Facility List

Item	Contents
Water Tank	STS304 1,500(W) x 1,500(D) x 1,300(H)
Buffer Tank	STS304 500(W) x 500(D) x 500(H)
Temp. Sensor	RTD(Pt 100Ω) 6 sets, TC 27 points
Press. Sensor	0~30 bar, 4~20 mA, 4sets
Flowmeter	Mass Flowmeter 0~20 kg/min
Heat Exchanger	Plate type water to water 5RT at $\Delta T=5^{\circ}\text{C}$
Data Logger	MX100-E-1F, Yokogawa
Chiller	5RT at water temp. 5°C
Pump	100 l/min at 3 bar, LG Wilo

Table 2 Conditions for Experiments

Variable	Conditions	
Pipe Diameter	I.D 16mm, O.D 20mm, t=2mm	
Pipe Span	10mm	
Pipe Length	60m	
Heat Exchanger Inlet Temp.	Heat Sink Mode	30°C
	Heat Source Mode	7°C
Water Tank Average Temp.	Heat Sink Mode	$15 \sim 24^{\circ}\text{C}$
	Heat Source Mode	$10 \sim 18^{\circ}\text{C}$
Water Tank State	Still, Stagnation	
Velocity of water	0.5, 1, 1.5 m/s	

2.3 실험방법

본 연구에서는 유출지하수의 기준온도를 15°C 로 가정하고 이를 Heat Source(난방모드)로 사용하는 경우와 Heat Sink(냉방모드)로 사용하는 경우에 대해서 실험을 진행하였다. Table 2에 본 실험을 수행한 조건들을 정리하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 Heat Source모드에서의 열전달량

Fig. 2는 Heat Source 모드에서 Pond Loop형 열교환기 내를 순환하는 물의 유속이 1 m/s, 입구온도가 7°C 인 경우, 시간에 따른 유출수조 온도와 열전달량 변화를 나타내고 있다. 초기 수조의 온도는 18°C 에서 출발하였다. 초기의 열전달량 Q는 5,500 kcal/h 를 나타내고 있다.

시간이 경과함에 따라 수조온도가 13°C 까지 점차 낮아지면서 열전달량, Q도 4,500 kcal/h로 저하되는 것을 볼 수 있다. 이는 열교환기 입구온도는 7°C 로 유지되는 반면 수조의 온도가 점차 낮아져 전체적인 온도차가 감소했기 때문이다.

본 실험을 통해서 유출수(혹은 지표수)를 Heat Source로 사용할 경우 수조의 온도와 열교환기 입구의 온도차가 $11 \sim 7^{\circ}\text{C}$ 인 경우 상기 제원의 Pond Loop형 열교환기를 통해 5,500~4,500 kcal/h의 열량을 전달할 수 있음을 확인하였다.

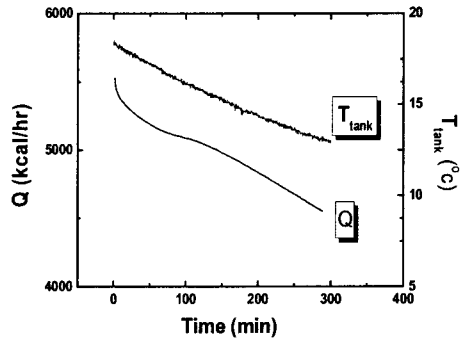


Fig. 2 Heat transfer rate of Pond Loop type heat exchanger in heat source mode ($v=1\text{m/s}$)

3.2 Heat Sink모드에서의 열전달량

Fig. 3은 Heat Sink모드에서 Pond Loop형 열교환기 내를 순환하는 물의 유속이 1 m/s, 입구온도가 30°C 인 경우, 시간에 따른 유출수조 온도와 열전달량 변화를 나타내고 있다. 초기 수조의 온도는 13°C 에서 출발하였다. 초기의 열전달량 Q는 5,200 kcal/h 를 나타내고 있다. 시간이 경과함에 따라 수조온도가 24°C 까지 증가하여 열전달량은 3,500 kcal/h로 감소하였다. 이 역시 수조와 열교환기 입구온도의 차가 감소했기 때문이다. 수조의 온도와 열교환기 입구온도차가 $16 \sim 6^{\circ}\text{C}$ 인 경우 상기 제원의 열교환기를 통해 5,200~3,500 kcal/h의 열량을 전달할 수 있음을 알 수 있었다.

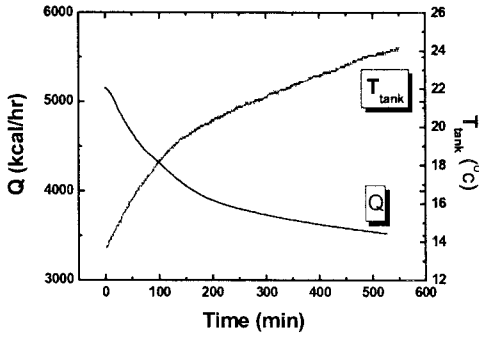


Fig. 3 Heat transfer rate of Pond Loop type heat exchanger in heat sink mode ($v=1\text{m/s}$)

3.3 총괄열전달계수, U 산출

본 절에서는 실험을 통하여 얻어진 Pond Loop형 열교환기의 성능을 바탕으로 설계인자인 총괄열전달계수 U값을 산출하였다. 일반적인 열교환기와 달리 Pond Loop형 열교환기는 Tank의 온도가 동일하기 때문에 Fig.4과 같이 온도분포가 나타나게 된다. 따라서 U값은 식(1)~(5)와 같은 과정을 통해서 산출하였다.

$$Q = UA_o LMTD \quad (1)$$

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)} \quad (2)$$

$$\Delta T_1 = T_{inlet} - T_{tank} \quad (3)$$

$$\Delta T_2 = T_{outlet} - T_{tank} \quad (4)$$

$$U = \frac{Q}{A_o LMTD} \quad (5)$$

실험결과를 바탕으로 상기과정을 통하여 얻어진 LMTD와 U값을 Heat Source 모드와 Sink 모드에서 나타내었다. Fig. 5는 Heat Source모드의 결과이다. 시간이 경과함에 따라 LMTD는 7°C에서 4°C로 감소하고 있고 U값은 250에서 400 kcal/h $\text{m}^2\text{°C}$ 로 증가하였다. 이는 LMTD가 감소함에 따라 열전달의 유효성이 증가하여 U값이 크게 나타나는 것으로 판단된다.

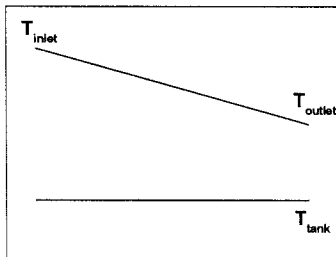


Fig. 4 Temperature description of Pond Loop Heat exchanger

Fig. 6은 Heat sink모드에서의 결과이다. 시간이 경과함에 따라 LMTD는 7°C에서 4.5°C로 감소하고 있고 U값은 190에서 300 kcal/h $\text{m}^2\text{°C}$ 로 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 앞서 설명한 바와 같이 LMTD가 감소함에 따라 열전달의 유효성이 증가함을 보여준다.

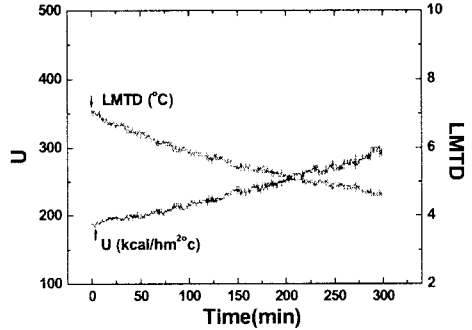


Fig. 5 LMTD and U in heat source mode

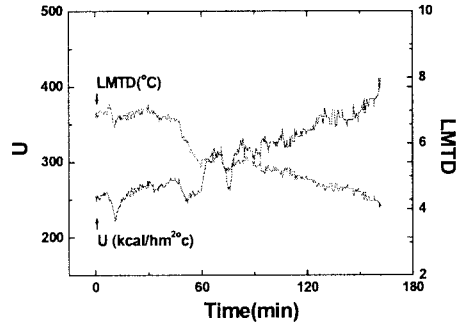


Fig. 6 LMTD and U in heat sink mode

4. 결 론

유출지하수를 이용한 지열히트펌프용 Pond Loop 열교환기의 기초실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Heat Source 모드에서의 열전달량은 열교환기 입구의 온도차가 11~7°C 범위에서 5,500~4,500 kcal/h로 나타났다.
2. Heat Sink로 열교환기 입구의 온도차가 16~6°C 사이에서 5,200~3,500kcal/h의 열량을 전달할 수 있었다.
3. Heat Source 모드에서의 U값은 250~300kcal/h $\text{m}^2\text{°C}$ 였고, Heat Sink 모드에서의 U값은 190~300 kcal/h $\text{m}^2\text{°C}$ 로 나타났다. 전체적으로 U값은 LMTD와 반비례관계로 나타났다.

참 고 문 헌

- [1] J. P. Holman, "Heat Transfer", McGraw-Hill, 1986.
- [2] 한정상 외 3인, "지열펌프 냉난방 시스템", 한림원, 2004
- [3] Stephen P. Kavanaugh, Kevin Rafferty, 1997, "Ground-Source Heat Pump: Design of Geothermal systems for commercial and institutional buildings", ASHRAE.
- [4] Kevin Rafferty, P. E., 2001, "An Information survival kit for the prospective geothermal heat pump owner", Geo-Heat Center Oregon Institute of Technology.