

유출지하수 열원 지열히트펌프용 Pond Loop형 열교환기의 열전달 성능(2)

박근우¹⁾, 이응열²⁾

Heat Transfer Performance of Pond Loop type Heat Exchanger for Ground Source Heat Pump using Extruding Ground Water(2)

Geunwoo Park, Eung-youl Lee

Key words : Extruding ground water(유출지하수), Ground source heat pump(지열히트펌프), Pond Loop type heat exchanger(Pond Loop형 열교환기), Heat transfer performance(열전달성능)

Abstract : 유출지하수나 지표수를 열원으로 하는 지열히트펌프의 Pond Loop형 열교환기를 개발하기 위하여, 미국에서 상용화된 Slim-Jim 열교환기와 본 연구에서 자체 설계, 제작한 Pond-loop type의 열교환기를 유동이 없는 유출수조 내에서 수조온도가 변화함에 따라 일정한 열교환기 입구온도를 유지하면서 열전달량의 변화를 측정하였다. 그 결과 유출수를 Heat Source로 사용하는 경우 Slim-Jim에서는 8,000~11,000 kcal/hr의 열량이 전달되었고, 자체 제작한 열교환기에서는 11,000~16,000kcal/hr의 열량이 전달되었다. 유출수를 Heat Sink로 사용할 경우 Slim-Jim에서는 2,500 ~ 7,000 kcal/h의 열량이 전달되었고, 자체제작한 열교환기의 경우, 6,800~14,00 kcal/hr의 열량이 전달되었다. 측정된 열전달량을 바탕으로 총괄열전달계수를 구한 결과 Slim-Jim 열교환기의 경우 210~340 kcal/hr m²°C, 자체개발한 열교환기의 경우 350~590 kcal/hr m²°C로 나타나 자체 개발한 열교환기의 열전달 성능이 비교적 우수함을 입증하였다.

Nomenclature

U : overall heat transfer coefficient, Kcal/hr-m²-°C
A : total internal surface area, m²
LMTD : log mean temperature °C
Q : heat flux, kcal/hr-m²
T_{in} : temperature of heat exchanger inlet, °C
T_{out} : temperature of heat exchanger outlet, °C
ΔT_{inlet} : temperature variation of inlet, °C
ΔT_{outlet} : temperature variation of outlet, °C
T_{tank} : temperature of Tank, °C
T_{tank,avg} : average of tank temperature. °C
L : length, m
H : height, m
W : width, mm
D : diameter, mm
Δp : pressure drop, kgf/cm²

1. 서론

지하건물의 신속시 유출되는 지하수는 현재

대부분 하수를 통해서 버려지고 있으나 지열 히트 펌프의 열원으로 활용하면 경제성과 효율측면에서 매우 우수한 신재생에너지 중의 하나이다. 지하철 역사나 K복지관의 경우 연중 내내 지하수가 2천~7천톤/일의 유량으로 유출되고 있으며, 그 온도도 연중 12~18°C의 범위에서 일정하게 유지되고 있다. 이러한 유출수는 열펌프의 유용한 열원이 될 수 있고, 유출수를 모을 수 있는 적정 크기의 저장탱크만 있으면 설치, 운영이 가능하다. 지열히트펌프에서 지표수에 주로 이용하는 열교환기의 형태중에 Pond Loop형 열교환기가 있

-
- 1) 삼양에코너지(주) 부설연구소
E-mail : gwpark@ecosy.co.kr
Tel : (031)713-8157 Fax : (031)713-8158
 - 2) 삼양에코너지(주) 부설연구소
E-mail : yuli_1st@incheon.ac.kr
Tel : (031)713-8157 Fax : (031)713-8158

다. Pond Loop형 열교환기는 이용하는 물을 직접 끌어들이지 않는 Close type의 열교환기 형태이므로 운전이 진행됨에 따른 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 국외에서 기존에 상용화된 Pond Loop형 열교환기의 성능을 평가하고 자체 개발한 열교환기의 성능을 평가하여 비교함으로써 열교환기의 기초성능 데이터를 정립하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에서는 미국에서 하천이나 호수에 Pond Loop형태의 열교환기로 사용 중인 Slim-Jim 열교환기(3RT급)와 열전달 관계식에 의해서 자체설계, 제작한 Pond Loop형 열교환기(3RT급)를 대상으로 실험하였다.

2.1 Pond Loop형 열교환기

Picture. 1은 본 실험에서 사용한 Pond Loop Type의 Slim-Jim 열교환기의 사진이다. 스테인레스 스틸 재질의 판이 2장 겹쳐져 점용접에 의해 관로가 형성된 형태이다. 용량은 3RT급으로 3pass로 이루어져 있다. 일반적으로 Pond에 Slim-Jim 열교환기를 세워서 담가놓아 사용한다. Picture. 2는 자체 설계, 제작한 열교환기로서 공조기 코일에서 핀을 제거한 형태이다. 중간에는 판의 처짐을 방지하기 위해 중간판을 설치하였고, 유출수에 장시간 담가 사용하므로 동판의 청녹을 방지하기 위하여 열교환기 전체에 니켈도금과 크로메이트 처리를 하였다. Table 1에 실험대상 열교환기의 사양을 정리하였다.

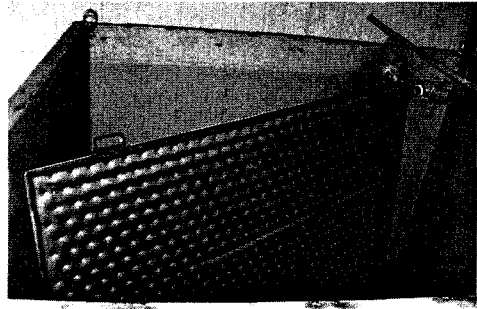
2.2 실험방법

본 연구에서는 유출지하수의 온도를 10~18℃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.

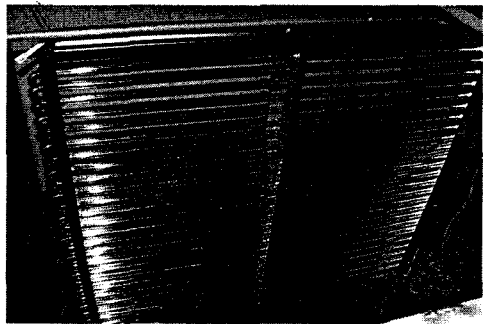
3. 실험결과 및 분석

3.1 열전달량의 비교

Fig. 1은 Heat Source 모드에서 열교환기 내를 순환하는 물의 유량이 30 lpm, 입구온도가 7℃



Picture. 1 Slim-Jim heat exchanger



Picture. 2 Developed heat exchanger

Table 1 Spec. of Pond Loop Heat Exchanger

	Slim -Jim	자체제작 Pond Loop
형태	STS 304 점용접	공조기 코일 형태 핀 제거
표면처리	없음	니켈도금, 크로메이트처리
크기	1.5m(L) × 1.2m(H) × 50mm(W)	1.1m(L) × 1.0m(H) × 126mm(W)

Table 2 Conditions for Experiments

Variable	Conditions	
	Heat Exchanger	Heat Sink Mode
Inlet Temp.	Heat Source Mode	7 ℃
Water Tank Average Temp.	Heat Sink Mode	15 ~ 24 ℃
	Heat Source Mode	10 ~ 18 ℃
Water Tank State	Still, Stagnation	
Flowrate of water in Tube	15, 30, 45, 60 lpm	

인 경우, 수조 온도에 따른 열전달량의 변화를 비교하여 나타내고 있다. 유출수의 일반적 온도인 15-20℃에서의 열전달량, Q는 Slim-Jim의 경우 2,500-7,000kcal/hr, 제작한 열교환기의 경우 6,800-14,000 kcal/hr 를 나타내고 있다.

Fig. 2은 Heat Sink 모드에서 열교환기 내를 순환하는 물의 유량이 30 lpm, 입구온도가 30 ℃인 경우, 수조 온도에 따른 열전달량 변화를 비교하여 나타내고 있다. 이 또한 유출수의 일반적 온도에서의 열전달량, Q를 살펴보면, Slim-Jim의 경우 8,000-11,000 kcal/hr, 제작한 열교환기의 경우 11,000-16,000kcal/hr 정도의 열량을 전달함을 나타내고 있다. 이는 자체제작한 Pond-Loop 형 열교환기가 Slim-Jim 열교환기보다 평균 40% 이상 열전달량이 많음을 나타낸다.

3.2 유량에 따른 열전달량 비교

Fig. 3은 Heat Source 모드에서 유출수의 온도가 18 ℃인 경우 열교환기 내를 순환하는 유량의 변화에 따른 열전달량 변화를 나타내고 있다. Slim-Jim 의 열전달량은 4,000-6,000 kcal/hr 자체 제작한 열교환기의 열전달량은 7,000-11,500 kcal/hr로 나타났다. 유량이 15 lpm에서 60 lpm으로 증가함에 따라 열전달량도 비례하여 증가하였다. 제작한 열교환기의 45 lpm 이상의 열전달량은 항온 질러의 능력 부족으로 인해 능력증가를 지속적으로 보지 못하였다. 유량의 변화에 따라서 자체 제작한 열교환기의 열전달 능력이 Slim Jim보다 50% 이상 크게 나타났다.

Fig. 4는 Heat Sink 모드에서 유출수의 온도가 18℃인 경우 열교환기 내를 순환하는 유량의 변화에 따른 열전달량 변화를 나타내고 있다. Slim-Jim 의 열전달량은 7,000-12,000kcal/hr로 나타났고, 제작한 열교환기의 열전달량은 8,000-17,000kcal/hr 로 나타났다. 냉방모드와 마찬가지로 유량이 증가함에 따라 열전달량도 따라서 증가하였으며 역시 자체 개발한 열교환기가 Slim-Jim 열교환기보다 40% 이상 큰 열전달량을 나타내었다.

3.3 열교환기 관내 유량에 따른 압력강하 특성

Fig. 5는 냉난방모드에서의 열교환기 내 유량 변화 (15 ~ 60 lpm)에 따른 압력강하 특성을 Slim-Jim 과 제작한 열교환기에 대하여 나타낸 것이다. 유량이 증가함에 따라 제작한 열교환기의 압력강하가 급격히 증가하는 것을 알 수 있다. 따라서 자체 제작한 열교환기의 유동저항을 감소시킬 방안을 모색해야 할 것이다.

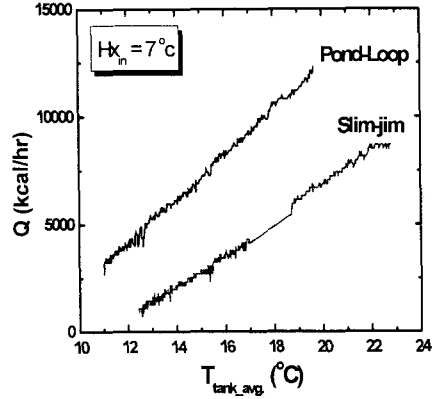


Fig. 1 Heat transfer rate in heat source mode ($\dot{m}=30$ lpm)

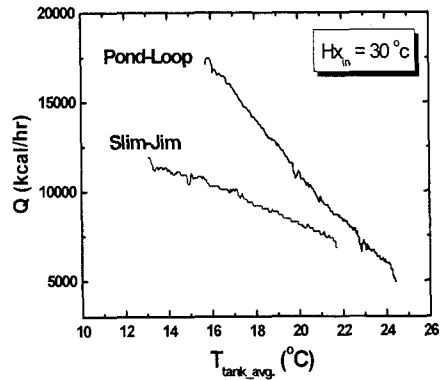


Fig. 2 Heat transfer rate in heat sink mode ($\dot{m}=30$ lpm)

3.4 총괄열전달계수 산출

본 절에서는 실험 데이터를 근거로 U값을 유출하였다. 이 때 유출수의 대표온도는 수조의 평균 온도를 사용하였고, 열교환기의 입출구 온도를 고려하여 LMDT를 산정하여 U값을 구하였다. 계산 과정은 식 (1) ~ (4)와 같다.

$$\Delta T_{inlet} = T_{in} - T_{tank} \quad (1)$$

$$\Delta T_{outlet} = T_{out} - T_{tank} \quad (2)$$

$$LMTD = \frac{\Delta T_{inlet} - \Delta T_{outlet}}{\ln\left(\frac{\Delta T_{inlet}}{\Delta T_{outlet}}\right)} \quad (3)$$

$$U = \frac{Q}{A LMTD} \quad (4)$$

Fig.6은 Heat Source 모드에서의 Slim-Jim 열

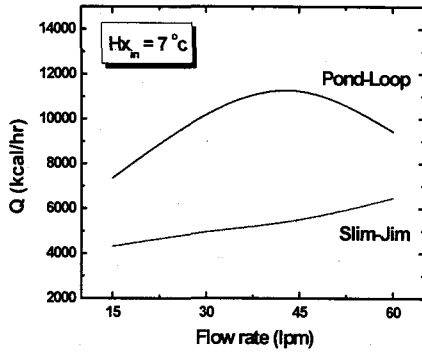


Fig.3 Heat transfer rate with flow rate in heat source mode

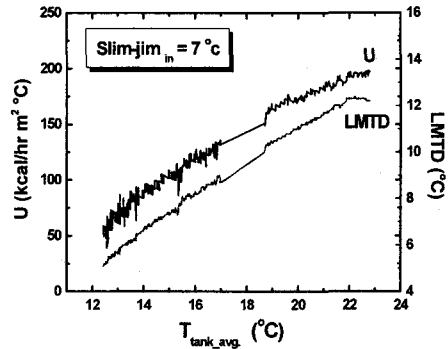


Fig. 6 Overall heat transfer coefficient and LMTD in heat source mode ($\bar{m}=30\text{lpm}$, slim-jim)

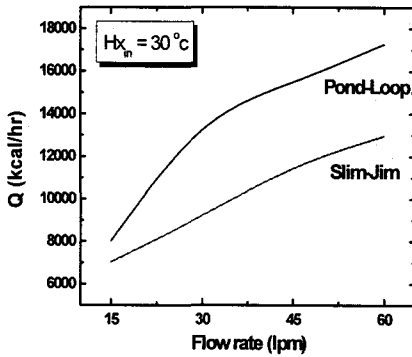


Fig. 4 Heat transfer rate with flow rate in heat sink mode

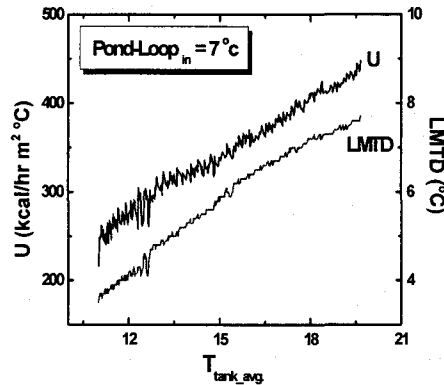


Fig. 7 Overall heat transfer coefficient and LMTD in heat source mode ($\bar{m}=30\text{lpm}$, developed product)

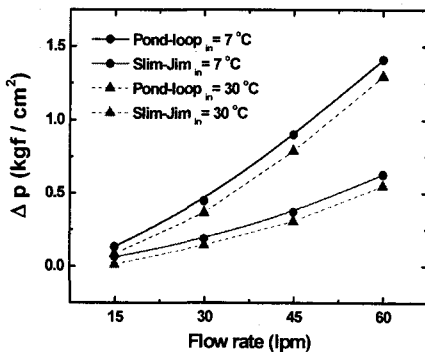


Fig. 5 Pressure drop with flow rate

교환기의 U값을 LMTD와 함께 나타내었다. LMTD가 3°C에서 12°C로 증가함에 따라 U값이 50~200 kcal/hr m²°C로 증가하였다. 이는 LMTD가 커질수록 열저항으로 작용하는 열교환기의 표면에서의 자연대류열전달 현상이 활성화되어 나타난 것으로 판단된다. 이러한 현상은 자체개발한 Pond Loop 열교환기에서도 나타난다. Fig.7에서 U값은 250~450 kcal/hr m²°C로 산출되었다. 자체제작한 열교환기의 총괄열전달계수, U값이 Slim-Jim 열교환기보다 2배 이상 크게 나타났다.

Fig. 8은 Heat Sink 모드에서의 Slim-Jim 열교환기의 U값을 나타내었다. 240~310kcal/hr m²°C로 산출되었다. Fig. 9는 자체개발한 Pond Loop 열교환기의 경우이다. 350~590kcal/hr m²°C의 범위에서 U값이 산출되었다.

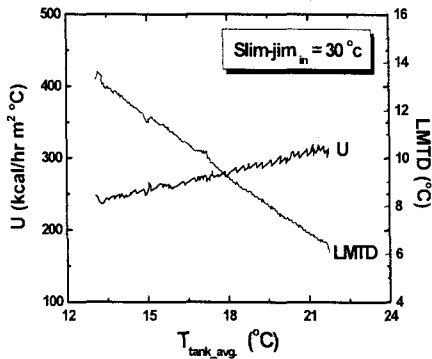


Fig. 8 Overall heat transfer coefficient in heat sink mode ($\dot{m}=30\text{ lpm}$, slim-jim)

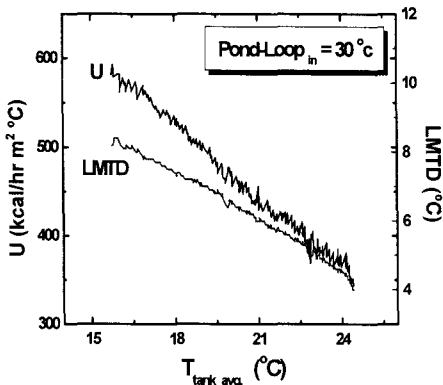


Fig. 9 Overall heat transfer coefficient in heat sink mode ($\dot{m}=30\text{ lpm}$, manufactured product)

4. 결론

유출지하수를 이용한 지열히트펌프용 Slim - Jim과 자체 제작한 열교환기의 비교실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Table. 1의 사양의 열교환기를 Table. 2의 실험 조건에서 실험한 결과 Slim-Jim 열교환기의 경우, Heat Source모드에서 2,500~7,000 kcal/hr, Heat Sink모드 8,000~11,000 kcal/hr의 열량을 전달하였고, 자체 제작한 열교환기는 Heat Source 모드에서 6,800~14,000kcal/hr, Heat Sink모드 11,000~16,000 kcal/hr 의 열량을 전달할 수 있음을 확인하였다.

2. 열교환기의 유량을 변화시켜 실험한 결과 Slim-Jim과 제작한 열교환기 모두 유량이 증가할

수록 열량이 증가함을 확인하였다.

3. 같은 유량에서 Slim-Jim보다 제작한 열교환기의 압력강하가 크고, 유량이 증가할수록 압력강하는 급격히 증가함을 알 수 있었다.

4. 총괄열전달계수 U값은 LMTD가 커질수록 증가하였으며, Slim-Jim열교환기보다 자체 제작한 열교환기가 2배 이상 우수한 성능을 나타내었다.

5. 본 연구를 통하여 유출지하수 뿐 아니라 하수 및 하천수를 이용한 지열히트펌프에 이용할 수 있는 Pond Loop형 열교환기의 기초 성능자료를 확보할 수 있었다.

후기

본 연구는 2005년 신재생에너지기술개발사업 중 「유출지하수를 이용한 건물냉난방기술개발(2005-N-GE02)」의 일환으로 수행되었습니다.

References

- [1] J. P. Holman, "Heat Transfer", McGraw-Hill, 1986.
- [2] Stephen P. Kavanaugh, Kevin Rafferty, 1997, "Ground-Source Heat Pump: Design of Geothermal systems for commercial and institutional buildings", ASHRAE.
- [3] Kevin Rafferty, P. E., 2001, "An Information survival kit for the prospective geothermal heat pump owner", Geo-Heat Center Oregon Institute of Technology.
- [4] 이영수, 2005, "하수열원이용 고효율 히트펌프시스템 기술개발현황분석, ETIS분석지 제25권, pp. 55-61.
- [5] <http://www.awebgeo.com>