

물 대 물 방식 수직 밀폐루프 지열원 히트펌프 시스템의 냉방성능에 대한 실험적 연구

Experimental Study on the Cooling Performance of Vertical Closed Loop Water to Water Ground Source Heat Pump System

홍부표*, 최광환**

Boo-Pyo Hong**, Kwang-Hwan Choi***

Abstract : A vertical closed loop ground source heat pump(GSHP) is used to produce heat from the low-grade energy source such as the outside air and ground source. It is known that a heat pump system type has better efficiency comparing to the electric heating system. This study only demonstrates that the vertical closed loop GSHP system is a feasible choice for space cooling of air conditioning. The coefficient of performance (COP) is the ratio of heat output to work supplied to the system in the form of electricity. For the vertical closed loop GSHP system in a cooling mode, the COP is the most commonly used way for judging the efficiency. For the purpose of this experiment, vertical closed loop GSHP system was installed in the laboratory and the experiment was executed. As a result, an average COP of vertical-closed loop GSHP system was 3.62 when the outside average temperature was 33°C.

Key Words : Ground source heat pump(지열원 열펌프), Water to water(물 대 물), Cooling performance(냉방성능), COP(성능계수), Vertical closed loop(수직밀폐루프)

1. 서 론

최근 지열시스템을 이용한 냉난방시스템의 설치가 계속증가하고 있으며 정부에서도 2020년까지 신재생에너지 그린홈(green home)

100만호를 보급키로 하고 지열시스템 등을 주택에 설치하고 시공할 경우 50 ~ 70%의 정부 보조금을 무상지원 한다. 지열에너지는 기후 환경의 변화에 크게 영향을 받지 않으면서 일정한 에너지를 획득하여 주거용 냉난방으로

*홍부표 : 한국폴리텍대학 서울 강서캠퍼스 산업설비자동
화과

**최광환(교신저자): 부경대학교 냉동공조공학과
E-mail : choikh@pknu.ac.kr, Tel: 051-629-6179

*Boo-Pyo Hong: Dept. of Automation Industrial Installation,
Korean Polytech I University

**Kwang-Hwan Choi(corresponding author) : Dept. of Refrigeration
and Air-conditioning Engineering, Pukyong National University
E-mail:choikh@pknu.ac.kr

활용할 수 있는 유용한 에너지이다⁽¹⁾. 이러한 지열을 활용하는 일반적인 방법으로서 지상의 특정장소와 지중간의 열교환을 통하여 여름에는 히트싱크(heat sink)로서 지중에 열을 방출하여 냉방을 하고 겨울에는 히트소스(heat source)로서 지하에서 열을 흡열하여 난방을 실시하고 있다⁽²⁾. 이와 같은 방법으로 획득할 수 있는 지열은 큰 열용량을 가지고 있지만 온도가 20℃ 이내로 직접 냉난방 열원으로는 부족하기 때문에 히트펌프시스템과 연동하여 냉난방시스템으로 활용하고 있다. 히트펌프시스템은 저온의 열원으로부터 열을 흡수하여 고온 열원을 만들어 열이 필요한 곳에서 열을 방출하는 장치이며 저온부에서 고온부로 열을 이동시키기 위해서 구동에너지가 필요하며 흡열하는 부분과 히트펌프에서 열을 방출하는 부분의 열교환 매체에 따라 공기 대 공기(air to air), 공기 대 물(air to water), 물 대 공기(water to air) 및 물 대 물(water to water) 방식으로 분류한다.

본 연구에서는 물 대 물(water to water) 수직 밀폐루프 지열원 히트펌프시스템(VCLGSHPS, vertical closed loop ground source heat pump system)을 한국폴리텍대학 서울강서캠퍼스(37°.55' N, 126°84' E)에 실험용으로 설치하고, 2층에 있는 신재생에너지실에 직접 적용하여 히트펌프의 냉방성능을 위한 실험을 수행하였다. 금번 실험을 통하여, 얻어진 결과를 분석하여, 향후 지열원 히트펌프시스템을 추가로 설치할 경우, 그 기초설계 자료를 얻고자 한다.

2. 실험

2.1 실험장치 및 실험방법

가. 실험장치

Fig. 1은 신재생에너지실에 설치하여 난방성능을 분석하는데 사용한 수직밀폐루프 지열원 히트

펌프시스템의 개략도를 나타낸 것이다.

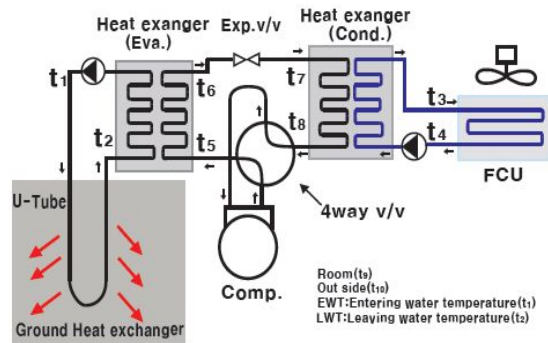


Figure 1. Schematic diagram of a ground source heat pump system

Fig. 2는 본 연구에서 사용된 5RT급 지열원 히트펌프시스템(FIDS-G05H, 대성, 한국)의 계통도이며, 기본 구성은 Table 1과 같이 지중 열교환기, 지열원 히트펌프 그리고 부하 측으로 구성되어 있다.



Figure 2. View of a ground source heat pump system

지중 열교환기는 수직밀폐루프형으로 150m 깊이의 보어홀(borehole) 1개를 설치하였으며, 수직밀폐루프는 지하 150m까지 직경 150mm로 천공하여 열교환용 파이프와 유튜브를 삽입한 후, 벤토나이트(Bentonite)로 그라우팅(grouting)하였다. 또한, 열교환용 파이프와 유튜브(U-tube)는 직경(내경) 40mm 고밀도

폴리에틸렌(high density polyethylene)파이프를 사용하였으며, Table 1에 실험장치의 사양이 나타나있다.

지열원 히트펌프는 압축기, 고온측 열교환기(응축기), 팽창밸브, 저온측 열교환기(증발기), 냉방과 난방기능을 전환하기 위한 사방밸브(4-way valve), 지열을 획득하기 위한 수직 밀폐루프(지열열교환기), 브라인 순환을 위한 지열 측 순환펌프, 히트펌프에서 발생한 냉수를 순환하는 부하 측 순환펌프 그리고 부하 측에 열을 방출하기 위하여 2개의 천정매립형 팬코일유닛(FCU, fan coil unit)로 시스템을 구성되어 있으며, 신재생에너지시설 면적이 26m×26m이고, 체적은 약 1554.8(m³)이다.

나. 온도, 유량 및 전력 측정부

수직밀폐루프 지열원 히트펌프시스템의 온도를 측정하기 위하여 모두 10개의 온도센서(Pt100 Ω, ϕ=5mm)를 Fig. 1과 같이 부착하였으며, 그 위치는 지열수의 입·출구(t₁,t₂), FCU 냉수의 입·출구(t₃,t₄), 압축기 출구(t₅), 응축기 출구(t₆), 증발기 입·출구(t₇,t₈), 그리고 실내·외 측(t₉,t₁₀)이다.

한편, 본 연구의 대상인 물 대 물(water to water) 수직 밀폐루프 지열원 히트펌프시스템에서 측정한 온도 데이터 취득을 위하여 데이터로거(Sensor Data Logger ver.1.0, 최대 16 채널, POSTECH)를 사용하였다.

지열수와 부하 측 순환유량은 초음파유량계(TransPort PT878, GE Industrial, US)를 사용하여 측정하였으며, 히트펌프가 작동하는데 소모된 전력량을 측정하기 위하여 3상 4선식 전력량계(LD3410DR, LS산전)를 사용하였다. Table 2에 이러한 측정 장치들의 사양이 나타나 있다.

Table 1. Specification of geothermal heat pump system

Items		Specification
Geothermal heat exchanger	U-tube	HDPE (high density polyethylene) outside dia.40mm
	Dia. of borehole	150mm
	Depth of borehole	150m
	heat transfer medium fluid	Water(70%)+ Antifreeze(30%)
Heat pump	Compressor	Scroll type 5RT 380V, 3phase
	Condensor/Evaporator	Flat type exchanger
	Refrigerant	R22
	Type	Water to water
	Heating capacity	18kW
	Power consumption	4.6kW
FCU	Type	4-way ceiling cassette type

Table 2. Measuring instruments

Item	Instruments
Electric power	LD3410DR-040 (LS IS, Korea)
Flow meter	TransPort PT878 (GE Sensing, US)
Fluid temp.	Pt100 Ω RTD, ϕ=5mm
Recorder	Sensor Data Logger Ver.1.0 (Postech, Korea)

2.2 실험방법

본 연구에서는 냉방능력이 18kW인 히트펌프(FIDS-G05H, 대성히트펌프)를 가동하면서 소모된 전력량을 측정하고, 이를 열량으로 환산하여 부하 측에서 방출된 열량과의 비로서 히트펌프의 성능계수(COP, coefficient of performance)를 구하였다.

실험하는 시간 동안 히트펌프의 압축기는 부하 측 냉수의 온도에 의해 기동과 정지가

자동적으로 운전되도록 하였으며, 지열 측과 부하 측에 부착된 순환펌프는 계속 작동하도록 설정을 하여 실험하였다.

또한 각 측정부에서 측정된 온도는 데이터 로거(data logger)와 PC를 USB 케이블로 연결하여 실시간 모니터링하면서 1분 간격으로 PC에 저장하였다.

그리고 히트펌프시스템의 특성에서 실제로 냉방에 사용된 열량은 FCU에서 얻어진 값들을 바탕으로 (1)^(3,4)을 통하여 구하였으며, 냉방성능계수(COP)는 식(2)⁽⁵⁾로 산출하였다.

$$Q_{load} = m_{load} \cdot C_{load}(t_3 - t_4) \quad (1)$$

$$COP = \frac{Q_{load}}{PO_{comp.} \times 860kcal/kw \cdot h} \quad (2)$$

여기서,

Q_{load} : FCU의 방출열량[kcal/h]

m_{load} : FCU의 순환 수량[ℓ/h]

C_{load} : FCU 순환수의 비열[kcal/kg℃]

COP : 냉방성능계수

$PO_{comp.}$: 압축기의 소비 전력[kWH]

$(t_3 - t_4)$: FCU 입출구 온도차[℃]

3. 실험결과 및 고찰

가. 지중 순환매체의 입·출구 온도

Fig. 3은 2013년 8월 14일 13시부터 16시 까지 3시간 동안 외기온도(t_{10}) 평균이 33.0℃일 때, 냉방실험을 실시한 결과로, 지중 열교환기 순환매체의 입구(t_1)와 출구(t_2)온도 변화를 나타낸 것이다. 실험하는 동안에 입구 평균온도는 25.8℃, 출구 평균온도는 21.9℃를 나타내고 있다.

지중순환매체의 입구온도는 외기온도 변화와 함께 히트펌프에서 열량을 취득함에 따라 약간 상승하고 있으나, 히트펌프시스템이 가동되는 동안에는 평균 3.86℃의 입·출구 온도차를 보이고 있다. 또한, 실험 도중에 압축기의 가동과 정지에 의한 따른 온도변화를 살펴보면, 지열수의 입구온도인 t_1 의 최고온도는 28.6℃이고, 최저온도는 21.0℃로 나타내고 있다.

또한, 실험이 시작된 9분이 경과된 이후부터는 지열수의 입·출구온도가 서서히 상승하고 있는 것을 보여주는데, 이는 히트펌프 가동에 따른 응축부하에 의한 온도변화인 있는 것으로 판단된다.

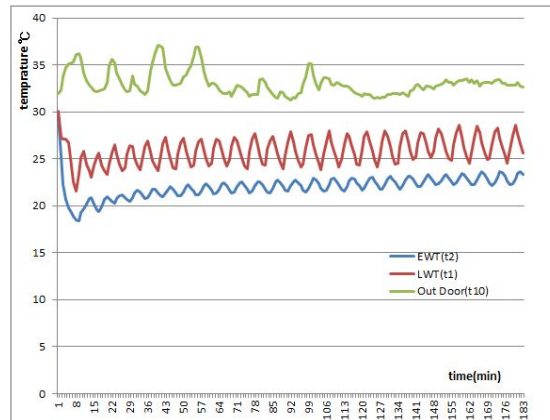


Figure 3. Temperature difference between inlet and outlet pipe in the ground heat exchanger

나. 응축기 및 증발기에서의 입·출구 온도 및 성능계수

Fig. 4는 응축기에서의 입구(t_5)와 출구(t_6) 온도 변화를 나타내고 있으며, 냉방에 필요한 냉수를 생산하여 순환펌프를 통하여 팬코일유닛(FCU)으로 보내어 실내를 냉방한다. 응축기 입·출구평균온도는 각각 31.6℃와 23.1℃로서 약 8.5℃의 평균온도차를 나타내고 있으며, 이 열량을 부하 측 냉수에 전달한다.

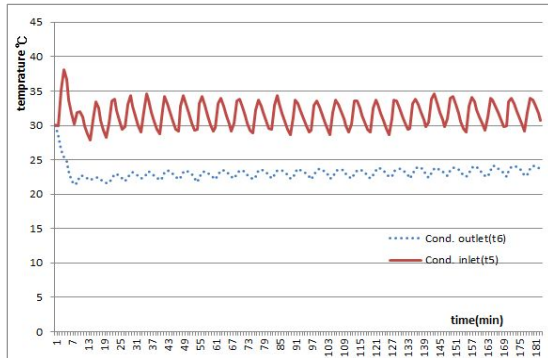


Figure 4. Temperature variation between inlet and outlet pipe in the condenser

한편, 펜코일유닛(FCU)에서 실내에 방출된 총열량은 8,189kcal/h 이며, 이 때 소비전력은 2.63kw/h로 나타났으며, 이를 열량으로 환산하면 약 2,264kcal/h에 해당된다. 따라서 이를 바탕으로 환산을 하면, 히트펌프시스템의 냉방성능계수(COP)는 약 $3.62(8,189(\text{방출열량})/2.264(\text{소비전력량})=3.62)$ 이다.

Fig. 5는 증발기에서의 입구온도(t7)와 출구온도(t8)의 변화를 나타내고 있다. 히트펌프가 가동되는 동안 증발기의 입·출구온도는 히트펌프 압축기의 가동에 따라 등락을 있었지만, 입·출구온도 차이는 약 0.3°C 전후로 비교적 일정하게 유지되어 시스템의 안정성에는 문제가 없음을 알 수 있다.

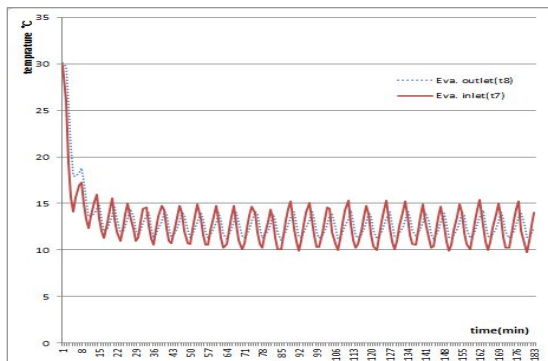


Figure 5. Temperature variation between inlet and outlet pipe in the evaporator

다. 부하 측 FCU 입·출구 온도

Fig. 6은 부하 측 펜코일유닛(FCU)의 입·출구 온도차를 나타내고 있는데, 히트펌프 압축기의 기동과 정지에 따라 입·출구의 온도가 각각 상승하다가 하강함을 반복하고 있으며, 평균온도차는 약 6.1°C로 거의 일정하게 나타나고 있다.

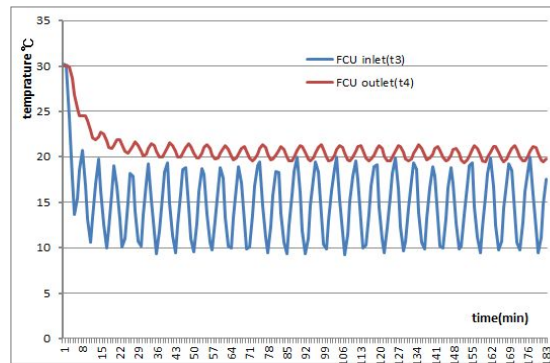


Figure 6. Temperature of between inlet and outlet pipe in the fan coil unit

라. 실내·외 온도

2013년 8월 14일 13시 00분부터 실험 개시 때 실내온도와 실외온도는 각각 30.8°C와 31.9°C를 기록하고 있었으나, 실험을 종료한 시점에서의 실내·외 온도는 각각 28.2°C와 33.0°C를

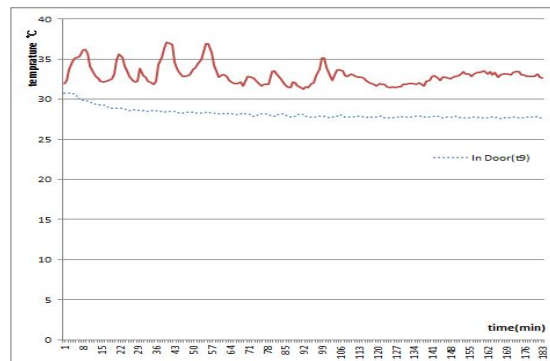


Figure 7. Temperature of room and outside

나타내었다. 또한 실내온도를 22℃로 설정하여 실험한 결과에서는 Fig. 7에서 나타낸 것과 같이, 실내온도가 약 27.7℃까지 하강하였으나, 그 이상은 온도변화가 없어서 난방운전을 할 수가 있음을 알 수 있다.

마. 지중 순환매체 및 부하 측 냉수 순환량

지중 열교환기와 지열수와 부하 측 냉수의 순환량은 초음파 유량계를 사용하여 측정하였으며, 그 평균값은 각각 31.6 l/min과 22.3 l/min으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구는 신재생에너지실 실험실습실에서 물 대 물(water to water) 수직 밀폐지열원 히트펌프시스템을 설치하여 기초 냉방성능을 조사하기 위한 실험을 수행한 실험결과로써, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 실외온도의 변화와 관계없이 지중열교환기를 통과하여 히트펌프시스템의 열교환기로 유입되는 순환수 온도가 거의 일정한 온도를 보여줌으로써 지열원은 충분함을 알 수가 있었다.
- (2) 그러나 본 실험을 위하여 설치된 히트펌프 시스템에서 지열원 열교환기를 가동한 결과, 실내 설정온도인 22℃에 도달하지 못하고 27.7℃ 이상을 유지함으로써 냉방능력이 18kW인 히트펌프시스템으로써 대상실(26n×26m)을 냉방하는데 한계가 있음을 알 수 있었다.
- (3) 또한 연구에서는 냉방능력이 18kW인 히트펌프를 대상으로 실험한 결과, 획득열량이 8,189kcal/h이고, 소비전력량이 2,264kcal/h로 히트펌프시스템의 냉방성능계수(COP)는 약 3.62로 비교적 양호한 것으로 나타났다.

- (4) 끝으로 금번에 실시한 ‘물 대 물 수직 밀폐 루프 지열원 히트펌프시스템’을 보완하여, ‘물 대 물 히트펌프 시험 성능평가 기준 (KS B ISO 13256-2)’에 의거하여 정확한 히트펌프의 성능시험을 수행할 필요가 있다.

참 고 문 헌

1. 최종민, 임효재, 강신형, 문제명, 김록희, “지열원 물대공기 멀티 히트펌프의 일일 난방 운전 특성에 관한 실증적 연구”, 설비공학논문집 제21권 제9호, pp. 527~535, 2009
2. 강연구, 유영선, 강금춘, 김영중, 백이, “축열식 수직형 지열히트펌프의 난방성능에 관한 연구”, 한국농업기계학회 2007 하계 학술대회 논문집 12(2), pp. 280, 2007
3. Kim, S, Y., “Heat Exchanger Design Handbook”, Hanmi Press, pp. 8~9, 1998
4. McQuiston, F. C., Parker, J. D., “heating, Ventilating and Air conditioning, Analysis and Design”, John Wiley & Sons., pp.85~88, 2002
5. 강연구, 이용범, 이재한, 유영선, “지열원 히트펌프를 이용한 온실 냉난방효과”, Journal of Bio-Environment control, 14(II), p. 180, 2005
6. 백남춘, 정선영, 윤용상, 이경호, “콤팩트형 태양 열/지열히트펌프 하이브리드 냉난방 및 급탕시스템 개발 및 성능분석”, 한국태양에너지학회, Vol.32, No.5. 2012