

수평형 지열 히트펌프 난방 성능 분석을 위한 실험적 연구

임병찬 · 조성우*[†]

동아대학교 건축공학과, *창원대학교 건축학부

Experimental Study for Horizontal Geothermal Heat Pump Heating Performance Analysis

Pyeong chan Ihm and Sung woo Cho*[†]

Department of Architectural Engineering, Dong-A University, Busan 604-714, Korea

*Department of Architectural Engineering, Changwon University, Gyeongnam 641-773, Korea

Abstract

This study have an objective to suggest basic data and measured result of heating performance on water-water type horizontal geothermal heat pump which is based on heating and cooling load calculation result of small residential house. The average temperature during measured periods is 9.4°C on primary EWT and is 7.6°C on primary LWT. The temperature difference shows 1.8°C as average temperature. Because the average outdoor temperature of peak is lager than on December and than on January, the temperature difference between EWT and LWT is bigger that on January than that on December. The system COP is 3.62.

Key words: Horizontal geothermal heat pump(수평형 지열히트펌프), Full scale experiment(실물실험), COP(성적계수)

기호설명

C_W : 물의 비열[4.187kJ/kg°C]
 Q_H : 열 방출량[W]
 Q_C : 열 흡입량[W]
 T : 온도[°C]
 W : 동력[W]
 W_C : 순환수량[m³/h]

하첨자

HP : 히트펌프 *ref* : 냉동기
 S : 공급측 수온[°C]
 R : 순환측 수온[°C]
 P : 펌프

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

세계적으로 주거용에서 소비되는 에너지는 증가 추세에 있으며, 특히 주거용에서 사용되는 에너지의 54%가 난방과 냉방에 사용된다고 하고 있다. 가정 용으로 소비되는 에너지 가운데 난방이 대략 28%를

[†]Corresponding author

Tel: +82-55-213-3805, Fax: +82-55-213-3809

E-mail: swcho@changwon.ac.kr

접수일: 2016년 03월 25일

심사일: 1차:2016년 05월 10일, 2차:2016.05.19

채택일: 2016년 05월 20일

차지하고 있고, 이 가운데 86%가 화석연료인 석유와 가스가 차지하고 있다. 화석연료 및 에너지 절약을 위하여 고효율 히트펌프로의 교체가 이루어지고 있으며, 이로 인하여 연간 1,200만 t-CO₂를 줄일 수 있다[1]고 한다. 또한 국가에서는 에너지 저감을 위하여 자연에너지 즉 태양, 지열 등을 활용하는 신재생에너지 설비의 초기투자비에 50% 가까운 지원을 통하여 2014년도에는 총 1차 에너지 소비량 가운데 신재생에너지가 차지하는 비율을 3.52%까지 끌어 올려 화석에너지의 사용을 줄이고자 하고 있다[2].

국내의 경우 냉방과 난방에 활용되는 지열에너지는 대부분 히트펌프와 결합하여 사용되고 있는 실정이다. 지열 히트펌프는 열교환기의 매설방법에 따라 수직형, 수평형과 건물일체형으로 나눌 수 있다.

국내에서는 You *et al.*[3]은 저심도인 10m 깊이에 매설형태 및 매설파이프의 길이가 다른 대구경 지중열교환기의 설치조건에 대하여 성능평가 실험을 수행하여 매설파이프의 삽입개수가 2.5배 증가하였을 때, 지중 유효 열전도도는 48시간 열 응답 시 약 3%, 72시간 열 응답 시 약 9% 감소하고, 난방운전 시 순환수의 온도는 가동 후 6일이 지난 후에는 -3.0°C 부근에서 안정화 되는 것으로 보고하고 있다. Lee *et al.*[4]은 사무 시설에 수직형 지열원 냉난방시스템의 경제성을 파악하기 위한 조건으로 인입온도에 대하여 연구를 수행하여 가급적 지중온도에서 온도 차이를 크게 설정하고 지중열교환기 길이를 짧게 설계하는 것이 유리하며, 이에 따라 중규모 사무소 건축물의 냉방에서는 온도 차이가 31°C 이하, 난방에서는 5°C의 값이 도출되었다고 보고하고 있으며, 이는 냉방과 난방의 인입온도 차이에 초점을 맞추어 경제적인 온도차를 구하는데 목적을 둔 것을 알 수 있다. Shon *et al.*[5]는 지중 1.5m, 관 길이 50m 매설관을 설치하여 물-공기 방식의 수평형 지열히트펌프에 냉방과 난방성능을 파악하여 실험을 수행하였으며, 그 결과 난방시스템의 COP는 2.82, 순환수 온도 차이는 1.2°C이며, 냉방성능을 나타내는 SPF는 3.31, 순환수 온도 차이는 2.7°C라고 보고하고 있다. 그러나 실질적으로 매설길이는 50m 이상이 필요하므로 이에 대한 실측연구는 구현하지 못하였다.

또한, Mortaza Yari *et al.*[6]은 이란에서 최초로 지열히트펌프 설치 및 계획을 하여 air-to-air 응축기를 tube-in-tube 열교환기로 대체하여 시스템을 가동하

였으며, 실험결과 히트펌프의 평균 성적계수는 2.57로 보고하고 있다.

Amir A, safa *et al.*[7]은 수평형 지열원 히트펌프에 대한 성능을 분석하기 위하여 모니터링과 수치시뮬레이션을 수행하였으며, 일일 열적 출력의 데이터를 사용하는 것이 유효하며, 이에 따라 수평형 지열원 히트펌프의 성적계수는 3.05~3.44의 범위에 있는 것으로 보고하고 있다.

Na Zhu *et al.*[8]은 호텔 건물에 지중수열원을 이용하는 히트펌프를 설치하여 이에 대한 성능을 분석하였으며, 일반 시스템과 비교하여 전기에너지와 물 소비를 절약할 수 있는 것으로 나타났으며, 냉방 가동 시에는 성적계수가 3.29이고 난방 가동 시에는 성적계수가 2.79로 나타났다고 보고하고 있다.

이상에서 살펴본 바와 같이 지열히트펌프의 경우 수평형에 대한 실험 또는 이론적 결과에 대한 발표는 소수이며, 특히 국내에서는 지중깊이 3m 이내에 설치된 수평형 지열 히트펌프에 대한 연구 결과는 극히 드물다고 판단된다. 이에 본 연구에서는 소규모 주택에 대한 냉방과 난방부하를 산출하고, 이를 근거로 물-물방식의 수평형 지열히트펌프에 대한 난방 성능을 측정하여 이에 대한 성능을 파악함과 동시에 기초적인 자료를 제시하는데 목적을 두었다.

2. 히트펌프 성능 계수

지열히트펌프의 응축기 역할을 하는 지중 매설관과 지중과의 열이동을 통하여 지중으로 열을 방출하게 되는 원리[9]이다. 히트펌프 성적계수는 열원(증발기)과 열방출(응축기)사이의 온도차이로서 나타내면, 열 방출량(Q_H ; Desired output)에 대한 열 흡입량(Q_C ; Required input)로 표시할 수 있다. 히트펌프(W_{HP})의 성능은 식 (1)과 같이 구할 수 있다.

$$W_{HP} = Q_H - Q_C \quad (1)$$

히트펌프의 성적계수(COP)계산 개념도는 Fig. 1이며, COP는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$COP_{HP} = \frac{Q_H}{W_{HP}} = \frac{Q_H}{Q_H - Q_C} \quad (2)$$

여기서, $Q_H = (W_C/60) \times C_W \times (T_S - T_R)$

일반적으로 지열히트펌프의 경우 지하 순환수를

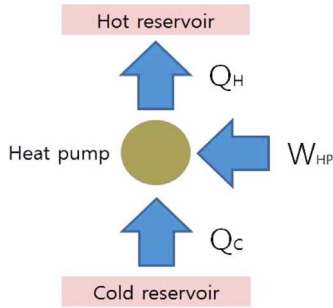


Fig. 1. Heat pump COP calculation conceptual diagram.

순환시키기 위해 펌프를 설치하게 되며, 이를 포함하여 시스템 COP라고 한다. 펌프를 고려하여 식 (2)를 정리하면, 식 (4)와 같이 구할 수 있다. 즉 Q_H 를 얻기 위하여 사용되는 동력 $W_{HP} + W_p$ 가 작을수록 히트펌프 성능계수는 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 순환펌프와 히트펌프를 포함한 시스템 전체의 성적계수는 식 (3)과 같다.

$$COP_{SYS} = \frac{Q_H}{W_{HP} + W_p} \quad (3)$$

3. 실험개요

3.1 히트펌프 시스템 개요

수평형 지열히트펌프 성능을 파악하기 위하여 먼저 바닥면적이 124 m²(1층 66 m², 2층 58 m²)이고, 벽체 열관류율은 0.45 W/m²K, 바닥과 지붕은 각각 0.178 W/m²K, 0.16 W/m²K를 가진 소규모 주택에 대한 냉방과 난방부하를 Design Builder[10]를 활용한 시뮬레이션 결과에 따르면 피크 시, 난방과 냉방부하는 각각 505 kWh와 1,874 kWh로 나타났으며[11], 이를 토대로 지열히트펌프 설계시 활용되고 있는 GLD(Ground loop Design)프로그램[12]을 이용하여, slinky type 매설관이 매설되는 트렌치는 4곳, 각 트렌치 길이는 16.7m의 결과를 얻었다. 각 트렌치에 매설되는 관의 길이는 135.7m이며, 총 매설된 관 길이는 542.8m이며, 본 논문에 적용된 지열히트펌프의 사양은 Table 1과 같다. 매설관의 재질은 PE관으로 하였고 지중 3m 깊이에 Fig. 2와 같이 매설하였으며, 지열히트펌프에 대한 기계 장치 설비는 Fig. 3과 같다. 난방모드에서는 1차측 낮은 온도의 매체가

Table 1. Installed Heat pump specifications

Division	Contents
Model	DHGW 5N
Heating capacity [W/h]	17,631
Cooling capacity [W/h]	17,542
Heating power consumption [kW]	5.05
Cooling power consumption [kW]	3.73
Refrigerant	R-22
Flow rate [m ³ /h]	4.5
Circulation pump	600W

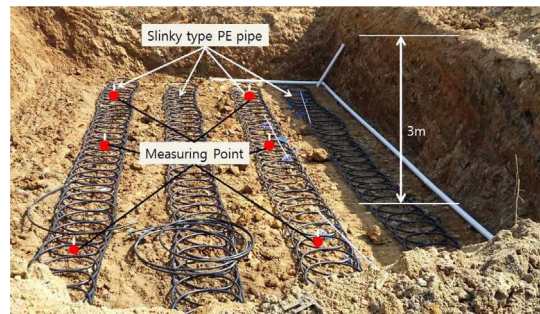


Fig. 2. Buried slinky type PE pipe.



Fig. 3. Heat pump systems.

지중과의 열교환을 통하여 온도가 상승되어 히트펌프로 유입되고, 2차측에서는 히트펌프에서 유출되는 고온의 매체가 대상실에 열을 방출하고 온도가 하강되어 히트펌프로 유입된다.

지열히트펌프 성능은 온도 차이와 순환수량에 좌우되므로 EWT(Entering Water Temperature)와 LWT(Leaving Water Temperature)에 각각 온도 센스를 설치하였고, 순환수량 파악을 위하여 유량계(측정오차 $\pm 1.0\%$)는 출구측에 설치하였고, 히트펌프 성능 파악에 있어서 중요한 요소인 전력량도 측정하였다.

Table 2. Measuring summary

Division	Contents		
Measurement contents	Date	15.12.09.~16.01.12	
	Interval	1 minute	24h
	Point	Inlet	1 point
		Exit	
Measuring instrument	Temperature	Thermocouple	K-type
	flow meter	FHXX10M3	Error ± 1.0%
	Power consumption	3169-01	Error ± 0.2%
	Data logger	GL-820	

3.2 측정방법 및 측정기기 사양

히트펌프 성능과약을 위하여 K-type 열전대를 관내 유량 속에 직접 삽입할 수 있도록 제작하였고, 유량측정은 측정범위에 따라 오차가 나타남에 따라 지열히트펌프의 순환수량을 근거로 하였으며, 온도 및 유량 센스는 데이터로그와 연결하여 1분 간격으로 측정하였다. 전력측정량은 히트펌프와 순환펌프를 동일한 전력선에 연결하여 압축기 소요전력과 순환펌프 소요전력을 구분하지 않고 측정을 수행하였으나, 1차측과 2차측에서 가동되는 순환펌프의 전력소비량은 1,200W이므로 이 값 이하에서는 순환펌프만 작동된 것으로 가정 하였으며, 이에 대한 내용은 Table 2와 같다. 전력측정계의 경우 순간값만이 측정됨에 따라 측정간격은 측정 최소 간격인 5초 간격으로 수행하였고, 이를 시간당으로 정리하여 결과를 분석하였다.

4. 측정 결과 분석

난방기간에 대한 수평형 지열 히트펌프 성능을 파악하기 위하여 35일간 측정하였다. 수평형 지열히트펌프에 대한 실험 계통도는 Fig. 4와 같으며, 지열히트펌프를 중심으로 1차측(지열 히트펌프와 지중 열교환기 연결)과 2차측(지열 히트펌프와 실내 FCU와 연결)으로 분리하였다.

열교환이 발생하는 1차측에서의 지중온도는 열교환과 관련성이 있으므로 지중온도를 측정하였으며, 측정기간 동안 지중온도는 7.7°C~13.5°C의 분포를 보이는 것으로 나타났다. 또한, 지중과 열교환이 발

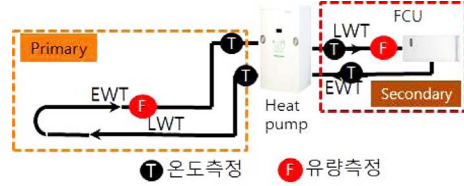


Fig. 4. Results analysis conceptual diagram.

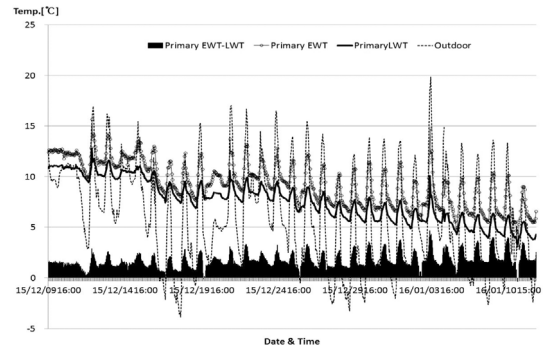


Fig. 5. Primary EWT, LWT and outdoor Temperature distribution.

생하는 1차측에 대한 EWT의 온도분포는 3.0°C~15.7°C, 평균온도는 9.4°C이고, LWT의 온도분포는 3.4°C~12.8°C, 평균온도는 7.6°C이고, EWT와 LWT의 평균온도에 대한 차이는 1.8°C로 보이고 있으며, Fig. 5와 같다.

측정기간 동안 외기온도와 EWT-LWT를 살펴보면 동일한 변화 형태를 보이고 있으며, EWT-LWT의 온도차이가 낮은 경우 외기온도가 낮은 것을 볼 수 있다. 그러므로 외기온도가 낮은 경우 COP 또한 낮은 경우가 발생할 수 있을 것으로 판단된다. 측정기간 동안 시스템에 소비된 전력과 순환수의 순환수량은 Fig. 6과 같다. 컨테이너의 크기는 7.8m(W)

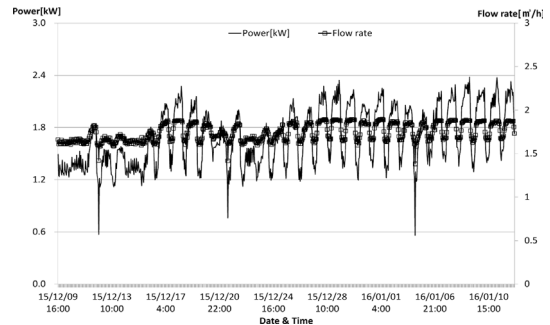


Fig. 6. Power and flow rate of Heat pump.

× 2.8m(D) × 2.25m(H)이고, FCU가 설치된 실험실의 체적은 24.6 m³의 작은 체적과 컨테이너의 특성상 축열이 거의 되지 않으므로 시간당 평균 소비 전력과 순환수량은 각각 1.69 kWh, 1.746 m³/h로 다소 작게 나타났다. 소비전력과 순환수량 분포 패턴은 비슷한 형태를 보이고 있으며, 외기온도가 낮은 1월의 경우가 순환수량과 전력이 모두 증가하는 것을 볼 수 있다.

측정기간 동안 1차측의 EWT-LWT의 차이와 COP와의 관계는 Fig. 7과 같이 나타났으며, COP가 “0”인 시간대는 12:00~15:00인 경우에 발생하였다. 이는 태양복사열로 인하여 컨테이너 내부의 온도 상승으로 인하여 히트펌프는 가동되지 않은 것으로 판단된다. 그러나 외기온도가 낮은 1월의 경우에는 일중 히트펌프는 가동되는 것으로 나타난 것을 볼 수 있다.

측정기간 동안 본 연구에서 설치한 시스템에 대한 평균 COP는 2.1로 나타났다. COP가 낮게 나타난 것은 대상 실험실의 작은 체적과 단열문제에 기인한 것으로 판단된다. 즉 히트펌프의 짧은 가동시간에도 실내의 온도는 쉽게 상승함에 따라 지열과의 열교

환이 충분하게 이루어지지 않은 것이 원인으로 사료된다.

식 (2)에서 Q_H 는 온도차에 대한 함수 관계에 있으므로, 온도차가 크면 히트펌프 COP는 높게 나타나므로, Fig. 7에서 보듯이 EWT-LWT의 차이가 클수록 COP도 병행하여 크게 나타나는 것을 볼 수 있으며, 두 요소에 대한 그래프 양상은 비슷하게 나타난 것을 알 수 있다.

1차측에서는 지중과의 열교환을 수행한 반면, 2차측에 설치된 FCU에서의 난방모드는 실내공기가 고온의 열매와 열교환을 통하여 실내 온도를 상승시킨 후, 열을 방출한 열매는 온도가 하강된 상태로 지열히트펌프로 유입된다. 2차측 LWT와 EWT의 온도 분포와 이에 대한 차이는 Fig. 8과 같고, LWT와 EWT의 평균 온도는 각각 51.3°C와 49.7°C로 나타났으며, 온도 차이에 대한 평균값은 1.62°C로 나타났다. 2차측에서 열교환이 작게 나타난 원인으로서는 본 실험 대상실의 작은 체적과 충분한 단열이 이루어지지 않은 것이 하나의 원인으로 작용한 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 논문에서는 총 길이 542.8m, Slinky type의 매설관을 지중 3m 깊이에 매설하여 수평형 지열히트펌프 시스템에 대한 난방 성능을 파악하기 위하여 실측 실험을 수행하였으며, 이에 따른 결과는 아래와 같이 정리할 수 있다.

(1) 측정기간 동안 지중온도는 7.7°C~13.5°C의 분포를 보이고, 1차측의 EWT-LWT의 평균 온도차이는 1.8°C를 나타내고 있다. 또한 EWT-LWT의 변화폭에 대한 양상은 외기온도의 변화양상과 비슷하게 나타남에 따라 외기온도와 COP는 어느 정도의 관계가 있는 것으로 판단된다.

(2) 측정기간 중 12월과 1월 평균 외기온도는 각각 6.6°C, 4.9°C인 경우, EWT와 LWT의 온도 차이는 외기온도가 낮은 1월에서 큰 차이를 나타내고 있으며, 시스템 전반에 대한 COP는 2.1로 다소 낮게 나타났다. 이는 실험실의 작은 체적과 충분한 단열이 되지 않아 축열이 이루어지지 않은 것이 원인으로 판단된다.

(3) 2차측 LWT와 EWT의 평균 온도는 각각 51.3°C와 49.7°C로 나타났으며, 온도 차이에 대한

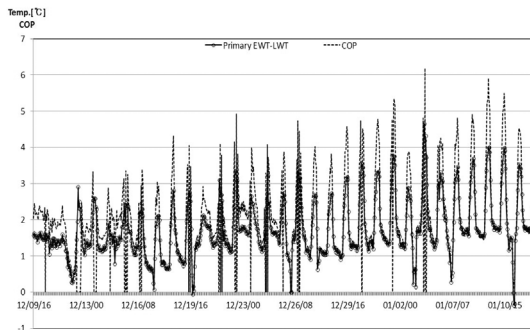


Fig. 7. COP and Primary EWT-LWT.

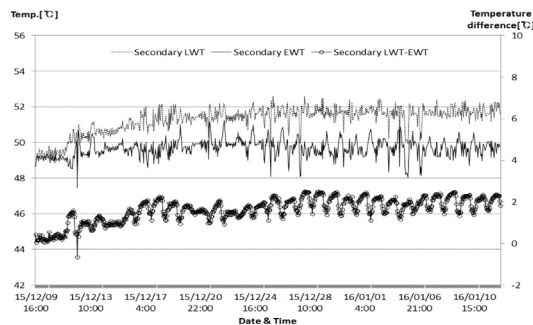


Fig. 8. Secondary EWT and LWT Temperature distribution.

평균값은 1.62°C로 나타났으며, 이는 실험 대상 실내의 작은 체적으로 인하여 충분한 열교환이 일어나지 않는 것이 원인으로 파악된다.

후 기

이 논문은 2015~2016년도 창원대학교 연구비에 의하여 연구된 결과의 일부임.

References

1. 에너지관리공단, 2014, 2013년 신재생에너지 보급통계, p. 8.
2. <http://greenpassivesolar.com/>
3. Yoo, G. S., Park, M., Choi, G. H., and Shin, H. J., 2009, Performance Evaluation of Large Borehole Ground-Loop Heat Exchanger, Proceeding of SAREK, pp. 58-63.
4. Lee, B. D., Lee, D. W., and Lee, S. J., 2009, A Study on Entering Water Temperature in Vertical Closed Ground Loop System Considering the Economical Feasibility in Load of the Office Building, Proceeding of SAREK, pp. 579-585.
5. Sohn, B. H., 2012, Performance Analysis of Ground-Coupled Heat Pump System with Slinky-Type Horizontal Ground Heat Exchanger, Vol. 24, No. 3, pp. 230-239.
6. Karl, O., 2010, Geothermal Heat Pumps, Earthscan, pp. 11-15.
7. MortazaYari, Nader Javaani, Alireza Ansari, and Hasan Moradian, 2005, Design and Installation of the First Geothermal Heat Pump in Iran, Proceedings World Geothermal Congress 2005, pp. 1-6.
8. Amir A. Safa, Alan S. Fung, and Rakesh Kumar, 2015, Heating and cooling performance characterisation of ground source heat pump system by testing and TRNSYS simulation, Renewable Energy, Vol. 83, pp. 565-575.
9. Na Zhu, Pingfang Hu, Wei Wang, Jianming Yu, and Fei Lei, 2015, Performance analysis of ground water-source heat pump system with improved control strategies for building retrofit, Renewable Energy, Vol. 80, pp. 324-330.
10. <http://www.designbuilder.co.uk/>
11. Hwang, Y. H., Choi, J. M., and Cho, S. W., 2012, Ground-pipe type and length for applicability of geothermal heat pump in small residential houses, KIAEBS, Vol. 6, No. 4, pp. 216-221.
12. <http://www.groundloopdesign.com/>