

# 학교 건물에 설치된 지열원 열펌프 시스템의 실사용을 통한 냉난방성능 연구

김 의 영, 정 영 만, 송 재 도, 이 재 근<sup>†</sup>, 김 인 규\*, 이 동 혁\*  
 부산대학교 기계공학부, LG전자

## Cooling and Heating Performance Under the Actual Operating Condition of a Ground Source Heat Pump System in a School Building

Euiyoung Kim, Youngman Jeong, Jaedo Song, Jaekeun Lee<sup>†</sup>,  
 Inkyu Kim\*, Donghyuk Lee\*

*School of Mechanical Engineering, Pusan National University, Busan, 609-735 Korea*

*\*Digital Appliance Laboratory, LG Electronics, Gyeongnam, 641-711 Korea*

**ABSTRACT:** This paper presents the performance of a water-to-refrigerant type ground source heat pump (GSHP) system installed in a school building in Korea. For analyzing the performance of the GSHP system, we monitored various operating conditions, including the outdoor temperature, the ground temperature, and the input power of the GSHP system. The average cooling coefficient of performance (COP) of the heat pump was found to be 8.5 at 60% partial load condition, while the overall system COP was found to be 5.9. The average heating COP of the heat pump was found to be 6.5 at 45% partial load condition, while the overall system COP was found to be 5.0.

**Key words:** Ground source heat pump(지열원 열펌프), Water-to-refrigerant(물 대 냉매), COP(성능계수), Ground heat exchanger(지중 열교환기)

---

### 기 호 설 명

### 하 첨 자

$h$  : 엔탈피 [kJ/kg]  
 $\dot{m}$  : 질량유량 [kg/s]  
 $Q$  : 열량 [kW]  
 $V$  : 풍량 [m<sup>3</sup>/s]  
 $W$  : 소비전력 [kW]

air : 공기  
 c : 압축기  
 f : 팬(Fan)  
 i : 입구  
 o : 출구  
 p : 순환펌프

### 그 리 스 문 자

$\rho$  : 공기의 밀도 [kg/m<sup>3</sup>]

---

## 1. 서 론

최근 화석에너지의 고갈 및 환경문제로 인해 지열원 열펌프시스템(ground source heat pump

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-51-510-2455; fax: +82-51-582-6368

E-mail address: jklee@pusan.ac.kr

systems)에 대한 관심 및 적용이 증가하고 있다. 지열원 열펌프시스템은 크게 지중 열교환기(ground heat exchanger)와 열펌프로 구성된 냉·난방 겸용 시스템이다. 지열원 열펌프시스템은 냉방 사이클의 경우 실내에서 흡수한 열을 지중 열교환기를 통해 지중으로 방출한다. 반대로 난방 사이클의 경우, 지중 열교환기는 지중에서 열을 흡수하여 실내로 공급한다.<sup>(1)</sup> 이 시스템의 장점은 공기 열원 열펌프(air-source heat pumps)보다 운전을 위한 에너지 소비량이 적고, 실외에 노출되는 기기가 없다는 것이다. 그리고 열펌프의 히트싱크(heat sink) 및 열원(heat source)의 역할을 하는 지열의 연중 온도변화는 외기 기온보다 안정적이기 때문에 지열원 열펌프시스템은 높은 효율과 우수한 성능을 갖는다. 반면, 지중 열교환기의 매설에 따른 높은 초기 설치비를 단점으로 들 수 있다.<sup>(2-3)</sup>

지열원 열펌프시스템은 지중의 토양과 온도 분포, 지중 열교환기와 열펌프 방식에 따라 성능에 영향을 미친다. 지열원 열펌프 방식으로는 주로 물-물 방식을 사용하고 있으며, 이에 대한 지열원 열펌프의 성능 연구로는 Hepbasli et al.<sup>(4)</sup>, Zhao<sup>(5)</sup>, Nagano et al.<sup>(6)</sup> 그리고 Michopoulos et al.<sup>(7)</sup>의 연구를 들 수 있다. 물-물 지열원 열펌프 시스템은 전체 건물의 냉·난방에 필요한 냉수 또는 온수를 만들어 Fan coil unit(FCU) 실내기로 보내어 냉·난방 운전을 한다. 최근에는 물-냉매 방식의 지열원 열펌프시스템이 개발되고 있다. 물-냉매 방식의 지열원 열펌프는 지중열교환기는 기존 방식과 동일하지만 실내에서 냉매-공기가 열교환을 한다. 또한 물-물 방식은 실내 FCU에 물을 보내기 위한 펌프가 필요하고, 물 배관의 부식 및 누수의 문제로 정기적인 유지보수가 필요하다. 하지만 물-냉매방식의 지열원 열펌프는 실내 FCU에 물을 보내기 위한 펌프가 필요 없고, 펌프 운전에 필요한 전력소모를 줄일 수 있는 장점이 있다.

본 연구에서는 사무실 및 교수연구실 용도로 사용되는 학교 건물에 물-냉매 방식의 지열원 열펌프를 설치하여 실사용 환경에서 냉·난방성능 변화를 연구하였다. 또한 시스템 운전에 따른 지중 온도변화를 비교하기 위해 매설 깊이에 따른 지중온도를 측정하여 분석 하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

물-냉매 방식의 멀티 열펌프에 지열원을 적용하여 실사용 시험을 통한 성능을 분석하기 위해 부산대학교에 지열원 열펌프를 설치하였다.

본 건물에는 "L"사에서 제조된 10 HP(LRW-N2900D, L사) 용량의 지열원 열펌프가 10대 설치되어 있으며, 지중열교환기는 수직 밀폐형으로 보어홀은 총 24개이며 깊이는 175 m이다.

본 연구에서는 지열원 열펌프의 성능 특성 및 지중 온도 변화 특성을 분석하기 위해 냉난방기의 활용도가 높은 학과사무실에 연결된 지열원 열펌프를 1대 선정하였으며, 실험장치의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. 지열원 열펌프 1대에는 4개의 학과사무실에 실내기가 각 1대씩 설치되어 있다. 학과사무실은 43.2 m<sup>2</sup>의 공간이며, 사무실 전체 면적은 172.8 m<sup>2</sup>이다. 실내기는 2.5 HP(LRD-N725T, L사)이다. 지중온도를 포함한 각종 온도 측정을 위해 T형 열전대(T-type thermocouple)가 사용 되었다. 또한 냉방성능을 측정하기 위해 실내기의 온도와 습도는 온습도계(EL-2, LASCAR사)로 측정 하였으며, 열펌프의 소비전력을 측정하기 위해 별도의 전력계(WT1600, Yokogawa)로 측정하였다. 온도, 소비 전력 및 실내기의 온습도 등의 데이터를 1분 간격으로 측정한 후, 데이터 획득 시스템에 기록하여 성능 분석에 사용하였다.

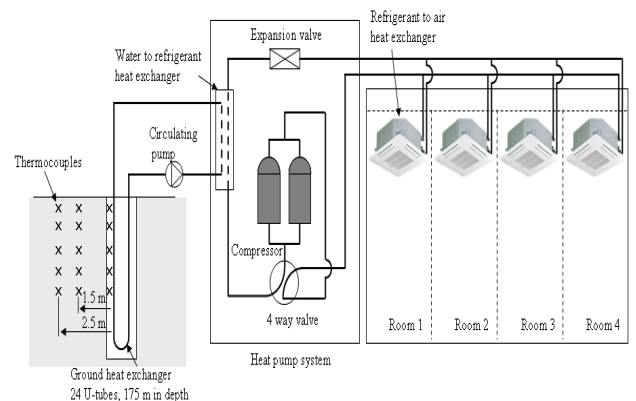


Fig. 1 System diagram of ground source heat pump.

## 2.2 실험결과 처리 방법

지열원 열펌프의 성능은 일반적으로 성능계수 (COP, Coefficient of Performance)로 나타내며 냉·난방성능은 다음의 식(1)과 같이 계산할 수 있다.

$$\text{COP}_{\text{hp}} = \frac{Q}{W_c} \quad (1)$$

여기서,  $Q$ 은 실내의 냉·난방 부하이며,  $W_c$ 는 열펌프의 압축기에 소요되는 소비전력이다.

전체 시스템의 성능계수는 다음의 식(2)와 같이 구할 수 있다.

$$\text{COP}_{\text{overall}} = \frac{Q}{W_c + W_p + W_f} \quad (2)$$

여기서,  $W_p$ 는 지중 열교환기의 순환펌프에서 소요되는 소비전력이며,  $W_f$ 는 실내기의 팬에서 소요되는 소비전력이다.

실내 냉·난방부하  $Q$ 은 다음의 식(3)과 같이 구할 수 있다.

$$Q = \dot{m}_{\text{air}}(h_{o,\text{air}} - h_{i,\text{air}}) \quad (3)$$

$$\dot{m}_{\text{air}} = \rho_{\text{air}} \dot{V}_{\text{air}} \quad (4)$$

여기서,  $\dot{m}_{\text{air}}$ 는 공기의 질량,  $\dot{V}_{\text{air}}$ 는 공기의 풍량,  $\rho_{\text{air}}$ 는 공기의 밀도이다. 그리고  $h_{o,\text{air}}$ 와  $h_{i,\text{air}}$ 는 실내에서 출구와 입구의 엔탈피이다.

## 3. 실험결과 및 고찰

지열원 열펌프는 지중 열교환기가 지중으로부터 열을 흡수하거나 또는 실내에서 흡수한 열을 지중으로 방출하는 과정에서 지중의 온도 변화에 따라 영향을 받는다. 따라서, 지중의 온도를 분석하기 위해 Fig. 1과 같이 지중 열교환기에서 1.5 m, 2.5 m 떨어진 지점에 깊이별로 열전대를 매설하여 지중온도를 측정 하였다. Fig. 2는 지표면 아래 20 m 까지의 깊이에 따른 지중온도 변화를 나타내었다.

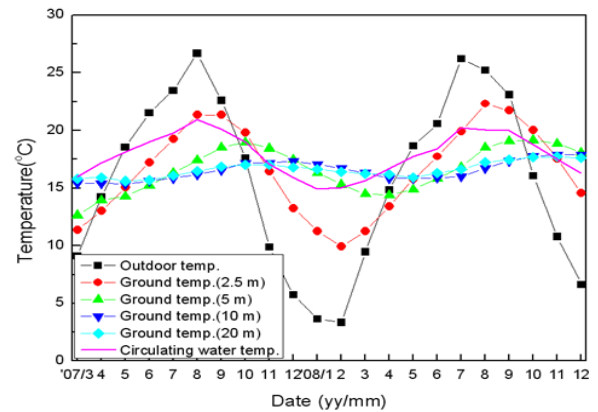


Fig. 2. The monthly average ground temperature, outdoor temperature and circulating water temperature variations from March, 2007 to December, 2008

지중 열교환기에서 2.5 m 떨어진 지점에서 지중의 깊이별로 측정된 결과 지표면 아래 2.5 m 지점에는 외기 온도에 따라 변화가 크며, 지표면 아래 5 m 지점에도 외기온도에 따라 영향을 받는 것을 알 수 있다. 지표면 아래 10 m이하 지점에는 온도 변화가 안정적이었다. 난방운전시 평균 순환수 온도는 21.1°C이며, 난방운전시 평균 순환수 온도는 15.4°C였다.

Fig. 3은 사무실의 월별 냉·난방 부하를 나타내었다. 2007년 3월부터 2008년 12월까지 시스템의 운전을 관찰 하였으며 5월~9월은 냉방기간으로 8월의 냉방부하가 가장 크게 나타났으며, 11월~3월은 난방기간으로 1월의 난방부하가 가장 크게 나타났다.

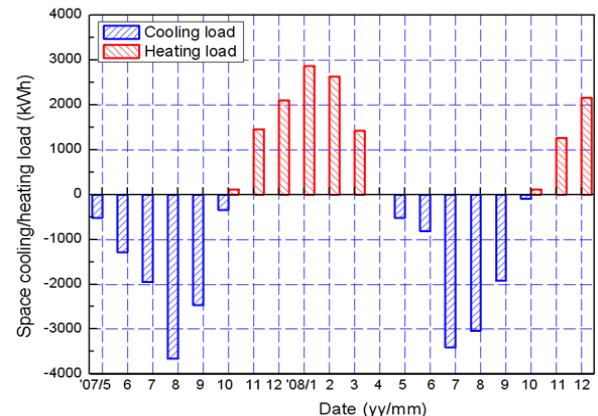


Fig. 3. The monthly space cooling/heating load of the office from March, 2007 to December, 2008

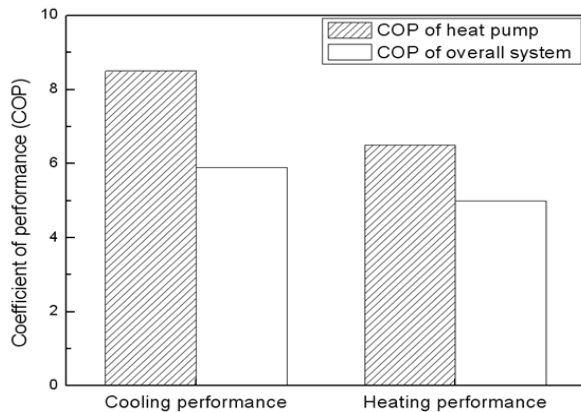


Fig. 4. The average cooling performance (partial load 60%) and heating performance (partial load 45%) of the GSHP

본 연구에서 지열원 열펌프시스템의 성능은 열펌프 부하가 가장 높은 1월(난방기간)과 8월(냉방기간)의 성능 측정 데이터를 비교 분석하였다. Fig. 4는 냉·난방 성능을 보여준다. 지열원 열펌프의 성능은 실내기로부터 측정된 자료를 바탕으로 식(3)을 이용하여 계산되었다. 냉방부하는 평균 17.4 kW로 지열원 열펌프의 전부하(29 kW) 대비 60% 부분부하에서 운전되었다. 열펌프의 평균 냉방 COP는 8.5이며, 시스템 전체의 평균 COP는 5.9로 나타났다. 난방부하는 평균 14.7 kW로 지열원 열펌프의 전부하(32.6 kW) 대비 45% 부분부하에서 운전되었다. 열펌프의 평균 난방 COP는 6.5이며, 시스템 전체의 평균 COP는 5.0로 나타났다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 물-냉매 방식의 멀티 열펌프에 지열원을 적용하여 학교건물에서의 실사용 시험을 통한 열펌프 시스템의 성능을 평가 하였다.

(1) 지중온도를 측정된 결과 지표면 아래 2.5 m 지점에서 외기 온도에 따라 변화가 크며, 지표면 아래 10 m 이하 지점에서는 온도 변화가 안정적이었다.

(2) 열펌프 부하가 가장 높은 1월(난방기간)과 8월(냉방기간)의 지열원 열펌프의 성능을 측정하였다. 냉방에서는 열펌프의 평균 냉방 COP는 8.5 (60% 부분부하)이며, 시스템 전체의 평균 COP는 5.9로 나타났다. 난방에서는 열펌프의 평균 난방

COP는 6.5 (45% 부분부하)이며, 시스템 전체의 평균 COP는 5.0로 나타났다.

#### 후 기

본 연구는 에너지관리공단, 부산대 시설과 및 (주)LG전자의 지원 하에 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. Sohn, B. H., Cho, C. S., Shin, H. J. and An, H. J., 2005, Cooling and heating performance evaluation of a GSHP system, Air-conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 17, No. 1, pp.71-81.
2. Hepbasli, A., 2002, Performance evaluation of a vertical ground-source heat pump system in Izmir, Turkey, Int. J. Energy Res., Vol. 26, pp.1121-1139.
3. Hwang, Y., Lee, J. K., Jeong, Y. M., Koo, K. M., Lee, D. H., Kim, I. K., Jin, S. W. and Kim, S. H., 2009, Cooling performance of a vertical ground-coupled heat pump system in a school building, Renewable Energy, Vol. 34, pp. 578-582.
4. Hepbasli, A., Akdemir, O. and Hancioglu, E., 2003, Experimental study of a closed loop vertical ground source heat pump system, Energy Conversion and Management, Vol. 44, pp. 527-548.
5. Zhao, L., 2004, Experimental evaluation of a non-azeotropic working fluid for geothermal heat pump system, Energy Conversion and Management, Vol. 44, pp.1369-1378.
6. Nagano, K., Katsura, T. and Takeda, S., 2006, Development of a design and performance prediction tool for the ground source heat pump system, Applied Thermal Engineering, Vol. 26, pp.1578-1592.
7. Michopoulos, A., Bozis, D., Papakostas, K. and Kyriakis, N. A., 2007, Three-years operation experience of a ground source heat pump system in Northern Greece, Energy and Building, Vol 39, pp.328-334.