

수평형 지열히트펌프 시스템의 시설원에 냉난방 실증 효과

*유 영선¹⁾, 강 연구²⁾, 김 영중, **강 금춘³⁾

Heating and Cooling Effect of Protected Horticulture by Geothermal Heat Pump System with Horizontal Heat Exchanger

*Youngsun Ryou, Younku Kang, Youngjung Kim, **Keunchun Kang

Key words : Heat pump, Geothermal, Heating, Cooling

Abstract : Geothermal heat pump systems use the earth as a heat source in heating mode and a heat sink in cooling mode. These systems can be used for heating or cooling systems in farm facilities such as greenhouses for protected horticulture, cattle sheds, mushroom house and etc. A horizontal type means that a geothermal heat exchanger is laid in the trench buried in 1.2 to 1.8 m depth. Because a horizontal type has advantages of low installation, operation and maintenance costs compared to a vertical type, it is easy to be adopted to agriculture.

In this study, to heat and cool farm facilities and obtain basic data for practical application of horizontal geothermal heat pump system in agriculture, a horizontal geothermal heat pump system of 10 RT was installed in greenhouse. Heating and cooling performance of this system was estimated.

The horizontal geothermal heat pump used in this study had heating COP of 4.57 at soil temperature of 14°C with depth of 1.75m and heating COP of 3.75 at soil temperature of 7°C with the same depth. The cooling COP was 2.7 at ground temperature at 1.75m depth of 25.5°C and 2.0 at the temperature of 33.5°C.

1. 서론

국내의 온실설치면적은 약 52,000 ha이며, 설치면적의 20%를 상회하는 12,000 ha 정도는 겨울 재배를 위해 난방이 이루어지고 있으며, 난방비가 생산비의 20~40%를 차지하고 있다. 2007년도 농업용 면세유 공급량은 약 248만 kl이었으며, 이중 135만 kl가 시설원예의 난방에 사용되었고(농림부, 2007), 이를 2007년 면세유가격인 820 원/L로 계산할 때 시설원예농가의 연간 난방비 지출은 약 1조원으로 추정된다. 이와 같이 현재에도 시설원예 난방에 많은 에너지와 비용을 감수하고 있으며, 미래의 에너지 수급은 더더욱 불확실하기 때문에 시설원예에 있어 보다 효율적이고 화석에너지 이용 이외에 다른 난방방식이 절실히 요구된다.

이를 해결할 수 있는 방안 중의 하나로 히트펌프

프를 들 수 있다. 압축식 히트펌프의 국가별 특허 출원비중은 전체 5,143건에서 일본이 전체건수의 54%, 미국이 25%, 한국이 21%를 차지하고 있어 국내에서도 히트펌프에 관한 지대한 관심이 있는 것으로 사료된다. 그 중에서도 지열은 대기에 비해 일간은 물론 연간 변화폭이 적고 안정적인 열원으로 실용화가 가장 유망한 자원으로 평가되고 있

1) 농촌진흥청 농업공학연구소 에너지공학연구실
E-mail : rys0418@rda.go.kr

Tel : (031)290-1887 Fax : (031)290-1945

2) 농촌진흥청 농업공학연구소 에너지공학연구실
E-mail : ykk0977@rda.go.kr

Tel : (031)290-1885 Fax : (031)290-1945

3) 농촌진흥청 농업공학연구소 에너지공학연구실
E-mail : kim0yoyj@rda.go.kr

Tel : (031)290-1902 Fax : (031)290-1945

4) 농촌진흥청 원예연구소 시설원예시험장

E-mail : kanggch@rda.go.kr

Tel : (051)602-2150 Fax : (051)971-2024

다. 지열은 그 자체로서도 농업에 이용이 가능하지만 히트펌프와 연계하여 사용하면 보다 효과적인 열증폭을 기대할 수 있다.

지열히트펌프에 관한 국내외 연구자료는 대부분이 수직형에 관한 것이며 수평형 지열히트펌프에 관한 많지 않다. 수평형에 비해 수직형이 만호 이 보급되고 있으나, 수직형은 천공비용이 많이 들어 수평형에 비해 설치비가 고가이다.

그러므로 본 연구에서는 농업시설의 냉난방과 실용화에 대한 기초 자료 획득을 목적으로 수직형 지열히트펌프에 비해 초기 투자비용이 비교적 적게 드는 수평형 지열히트펌프를 설치하여 이 시스템의 냉난방성능 및 지온변화 등을 분석하였다.

2. 실험재료 및 방법

지열교환시스템은 수원 소재 농업공학연구소 구내 포장에 매설하였다. 지열교환시스템은 고밀도 폴리에틸렌(HDPE) 소재의 파이프를 사용하여 slinky 타입으로 파이프의 외경은 27 mm, 내경은 21 mm이며 이를 직경이 90 cm 되도록 말아 1열당 250 m가 되도록 구성하였다. 또한 총 5열의 지열교환시스템을 지하부에 150 cm 깊이로 매설하고 그 위에 내부에 보온커튼이 1겹 있는 6 m×40 m의 아치형 단동온실을 신축하였으며, 지열교환시스템의 열간 간격은 열간섭 배제 거리(50 cm)를 고려하여 80 cm로 하였다. 그림 1은 지열교환시스템의 개략도와 매설상태 및 지중 센서 매설 위치를 나타내며 그림 내 굵은 원형이 지중 센서의 매설 위치이다.

히트펌프 시스템은 그림 2에서 보는 바와 같이 지열을 채열(採熱)하는 지열교환시스템, 열을 증폭하는 히트펌프 시스템, 히트펌프에서 증폭된 열을 방출하는 팬코일 유니트와 축열조로 구성하였다. 온실을 기계실과 난방공간으로 나누어 히트펌프 시스템은 기계실에 팬코일 유니트는 난방공간에 위치하도록 하였으며, 축열조는 온실외부의 지상부에 설치하였다. 그림 2는 히트펌프 시스템의 개략도이며 표 1은 실험장치의 사양을 나타낸다.

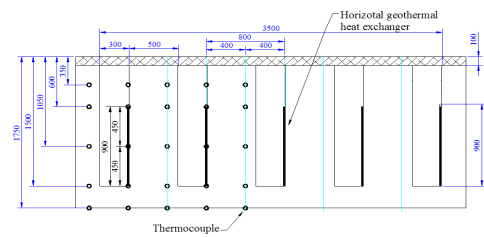


Fig. 1 View of horizontal type geothermal heat exchanger and sensor position.

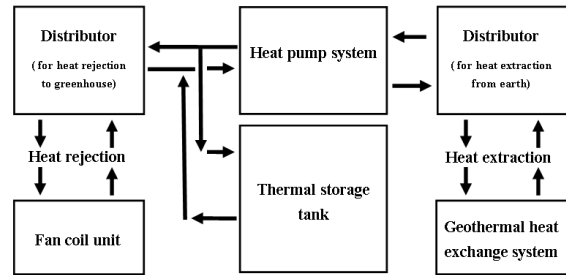


Fig. 2 Schematic diagram of geothermal heat pump system.

3. 결과 및 고찰

그림 3은 응축기 출구온도에 따른 소비전력 및 고압 변화를 보여준다. 그림에서 보는 바와 같이 소비전력과 고압은 응축기 출구온도에 대하여 1차 함수적으로 변화하며 응축기 출구온도 23℃일 때 소비전력은 8.8 kW, 43℃일 때 11.3 kW이었고 같은 온도에 대하여 고압은 1185.8 kPa에서 1607.2 kPa로 변화하였다.

응축기 출구온도의 증가는 냉매온도의 증가, 냉매온도의 증가는 압축기 소요동력의 증가, 압축기 소요동력 증가는 소비전력을 증가시키는 유기적 양상을 보이게 되므로 응축기 출구온도가 증가하면 소비전력과 고압이 증가하기 때문에 이와 같은 결과가 나타난 것으로 생각된다.

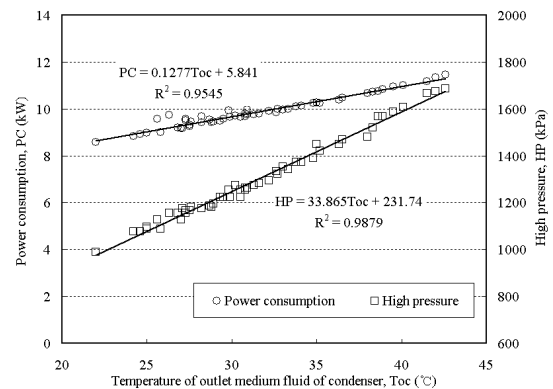


Fig. 3 Variation of power consumption and high pressure according to outlet medium temperature of condenser.

깊이 1.75 m의 지중온도 변화에 따른 난방성능계수, 난방열량 및 지중으로부터의 흡수열량은 그림 5와 같이 나타났다. 그림에서 보는 바와 같이 난방성능계수는 지중온도 14℃에서 4.57 수준으로 지온이 하강함에 따라 하강하여 지중온도 7℃에서 3.75 수준으로 매우 양호한 값을 보이고 있으며 지온하강에 대한 난방성능계수의 영향은 0.117/℃로 나타났다. 그림 4에서 보는 바와 같이 난방열량(heat rejection rate)은 지중온도 7℃에서 25.89 kW이었고 지온이 상승함에 따라 상승하여 14℃에서 33.26 kW이었으며, 지온이 약 17℃ 되는 점에서 난방부하의 설계값인 약 37 kW에 해당할 것으로 예상되었다. 지열교환시스템에 의한 지중 흡열량(heat extraction rate)은 지중온도 7℃에서 18.99 kW이었고 14℃에서 25.97 kW이었다. 지열교환시스템의 파이프 단위길이당 채열량은 7℃에서 15.19 W이었고 14℃에서 20.78 W로 나타났으며 설계값과 비슷한 채열량을 갖는 지중온도는 13℃ 부근으로 파악되었다. 설계에서 사용한 파이프 단위길이당 채열량이 지중온도 13℃부근에서 나타남으로 난방열량과 지중흡열량의 설계값과 실측값이 같아야 하나 설계값과 실측값이 약간의 차이를 보였다. 지중흡열량은 설계값과 실측값이 각각 25.9 kW와 24.9 kW로 설계값 대비 3%의 차이를 보이는데 이는 지열교환시스템을 실제 매설할 때 작업의 용이성 등을 고려하여 파이프 길이를 계산 길이의 약 3.5%인 45 m정도 줄였기 때문인 것으로 사료된다. 또한 난방열량의 설계값과 실측값은 각각 36.8 kW와 32.2 kW로 설계값 대비 12.5%의 차이를 보이는데 이는 지열교환시스템의 파이프 길이를 줄인 것과 더불어 온실 내에 설치된 팬코일 유닛의 효율 및 열전달매체가 통과하는 관로에서의 열전달에 기인한 것을 생각된다. 이와 같이 설계값과 실측값이 약간의 차이는 있으나 실측값이 설계값에 매우 근접하였다.

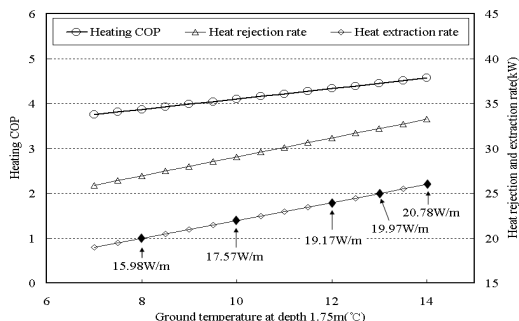


Fig. 4 Variation of heating COP, heat rejection rate to greenhouse and heat extraction rate from earth according to ground temperature at depth 1.75 m.

지중온도(깊이 1.75m) 변화에 따른 냉방성능계수 및 흡수열량(냉방열량)은 그림 5와 같이 나타났다. 그림에서 보는 바와 같이 냉방성능계수는 지중온도 25.5℃에서 2.7 수준이었으며 지온이 상승함에 따라 하강하여 33.5℃에서 2.0 수준이었다. 또한 온실 내부로부터 흡수하는 열량(냉방열량)은 같은 지중온도 수준에서 각각 28.8 kW, 26.5 kW이었다. 그림 4에서 보는 바와 같이 냉방성능계수는 비교적 낮은 수준이었는데 이는 지온의 상승으로 인하여 응축기에서 발생한 열을 충분히 제거하지 못하게 되고, 또 이것은 히트펌프의 고압의 상승으로 이어져 소비전력이 상승하기 때문인 것으로 판단된다.

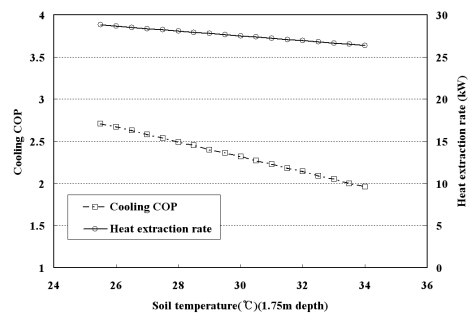


Fig. 5. Variation of cooling COP and heat extraction rate according to soil temperature change at depth 1.75m.

4. 결론

농업시설을 난방하고 실용화에 대한 기초 데이터를 획득할 목적으로 설치비용이 비교적 낮은 수평형 지열히트펌프를 설치하여 난방성능 및 지온변화 등을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 깊이 1.75m의 지온이 14℃일 때 난방성능계수는 4.57 수준으로 지온이 하강함에 따라 하강하여 지온 7℃에서 3.75 수준으로 매우 양호한 값을 보였다.
2. 지중파이프가 매설된 60 cm 깊이의 지온은 히트펌프를 가동한 후 1.5시간 만에 약 8.2℃에서 1.6℃까지 급격히 하강하여 전체 하강온도에 대하여 87%가 하강하였으며 이후 점진적으로 지온이 하강하였다.
3. 깊이 1.75 m의 지온이 평균 10.1℃일 때 축열조 온도가 28.8℃에서 48.3℃까지 상승하는데 소요되는 시간은 2.3시간이었으며 평균 축열율은 31.05 kW이었다. 또한 축열후 48.3℃에서 28.4℃까지 방열되는 시간은 온실온도가 평균 16.2℃일 때 1.83시간으로 평균 방열율

은 40.4 kW로 나타났다.

4. 응축기 출구온도가 40℃에서 58℃로 상승함에 따라 소비전력은 11.5k W에서 15 kW로 상승하였고, 고압이 1,617 kPa에서 2,450 kPa로 변화하였으며, 냉방성능계수는 지중온도 25.5℃에서 2.7 수준이었으며 지온이 상승함에 따라 하강하여 33.5℃에서 2.0 수준이었다.

후 기

본 연구는 농촌진흥청의 친환경·바이오에너지 연구사업단의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] Doherty P. S., S. Al-Huthaili, S. B. Riffat, and N. Abodahab. 2004. Ground source heat pump - description and preliminary results of the Eco House system. *Applied thermal engineering* 24. pp. 2627-2641
- [2] Hepbasli, A. and O. Akdemir. 2004. Energy and exergy analysis of a ground source(geothermal) heat pump system. *Energy conversion and management* 45. pp. 737-753
- [3] Ozgener Onder and Arif Hepbasli. 2005. Experimental performance analysis of a solar assisted ground-source heat pump greenhouse heating system. *Energy and buildings* 37. pp. 101-110
- [4] Ozgener Onder and Arif Hepbasli. 2005. Performance analysis of a solar-assisted ground-source heat pump system for greenhouse heating : an experimental study. *Building and Environment* 40. pp. 1040-1050
- [5] 강호철, 김영복, 김성태, 민영봉. 1999. 냉난방 열펌프시스템의 성능시뮬레이션. *한국농업기계학회지 학술대회지*. pp. 104-111
- [6] 기상청. www. kma. go. kr. 연별극값자료-최저기온
- [7] 김보철, 이진욱, 이재훈. 2005. 특허로 본 히트펌프의 기술개발 동향. *설비저널* 34(9). pp. 16-21
- [8] 김영복, 백이. 1996. 지중매설관 열교환장치의 성능분석(I). *한국농업기계학회지* 21(4). pp. 436-448
- [9] 농림부 통계. 2003. pp. 62-64
- [10] 손병후, 조정식, 신현준, 안형준. 2005. 지열원 열펌프 시스템의 냉난방 성능 평가. *설비공학논문집* 17(1). pp. 71-81
- [11] 송현갑 외 5인. 1993. 시설원에 자동화. *문운당*. pp. 85-142
- [12] 윤동윤. 2003. 지열히트펌프를 이용한 냉난방시스템기술의 특성. *설비/냉동공조위생* (7, 226). pp. 41-53
- [13] 윤용철, 서원명. 1997. 시설원예용 히트펌프의 기능과 시스템. *한국농공학회지* 39(4). pp. 5-13
- [14] 윤정인. 2004. 지열히트펌프의 기술개발 동향. *한국냉동공학회지*. pp. 811-816
- [15] 임효재, 송윤석, 공형진, 박성구. 2004. 지열 냉난방 시스템의 성능 및 경제성 평가. *한국에너지공학회지* 13(4). pp. 296-300
- [16] 정재동, 김주혁, 조성환. 2004. 축열조 성능에 미치는 디퓨저 형상의 영향. *설비공학논문집* 16(4). pp. 374-382