

## 지하공기를 이용하는 농업시설용 난방시스템

\*강 연구<sup>1)</sup>, 유 영선<sup>2)</sup>, 김 영화<sup>3)</sup>, 성 문석<sup>4)</sup>, 김 종구<sup>5)</sup>, 장 재경<sup>6)</sup>, 이 형모<sup>7)</sup>

### Performance of Heat Pump System Using Underground Air as Heat Source

\*Younku Kang, Youngsun Ryou, Younghwa Kim, Moonseok Sung,

Jongkoo Kim, Jaekyoung, Hyoungmo Lee

**Abstract** : The districts of underground geologic structure in Jeju island where underground air is distributed are lava cave, pyroclastic, open joint, and crushing zone. Such districts are identified to secure an enough airflow when air ventilation layer is to secure 25-35m in depth. In Jeju, Ground air is used for heating greenhouse and fertilizing natural CO<sub>2</sub> gas by suppling directly into greenhouse. But the heating method by suppling ground air into greenhouse directly bring about several problem. The occurrence of disease of the crops by high humidity is worried because the underground air which becomes discharge from underground air layer has over 90% relative humidity. The underground air is inadequate in heating for crops which need high temperature heating such as mangos, Hallbong and mandarin orange because the temperature of it is 15-18°C. Also There is worry where the ventilation loss becomes larger because the air pressure inside greenhouse is high by supplying underground air directly. In this study the heat pump system using underground air as heat source was developed and heating performance of the system was analysed. Heating COP of the system was 2.5~5.0 and rejecting heat into greenhouse and extracting heat from underground air were 40,000~27,000 kcal/h, 30,000~18,000 kcal/h respectively.

**Key words** : underground air, heat pump, heating, greenhouse, heat exchanger

#### Nomenclature

COP : coefficient of performance

P : power, kW

$\rho$  : density, kgm<sup>-3</sup>

V : volumetric flow rate, m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup>

c : specific heat, kJkg<sup>-1</sup>°C<sup>-1</sup>

T : temperature, °C

#### subscrip

H : heating

HP : heat pump

w : water

i, o : inlet, outlet

#### 1. 서론

제주도의 지질은 현무암류 등의 화산암류와 화산쇄설성 퇴적암류로 구성되어 있고, 화산쇄설층의 두께는 1~5m정도이나 때로는 20m이상 되는 지역도 있으며 화산재, 화산사, 화산력, 스킨리아(송이) 등과 같은 화산쇄설물로 구성되어 있어 지하수의 유동통로 역할을 하고 있다. 용암지대의

발달된 용암동굴과 습굴, 화산쇄설층 및 현무암내 절리 또는 과쇄대층은 지하수의 유동통로 뿐만 아니라 지하수위 상부구간에서는 공기의 통로 역할도 할 것으로 추정된다.

지하에서 토출되는 공기는 15~18°C를 연중 일정하게 유지하기 때문에 히트펌프의 에너지원으

- 
- 1) 농촌진흥청 에너지환경공학과  
E-mail : ykk0977@korea.kr  
Tel : (031)290-1813 Fax : (031)290-1840
  - 2) 농촌진흥청 에너지환경공학과  
E-mail : ysryou@korea.kr  
Tel : (031)290-1811 Fax : (031)290-1840
  - 3) 농촌진흥청 에너지환경공학과  
E-mail : younghwa@korea.kr  
Tel : (031)290-1814 Fax : (031)290-1840
  - 4) 제주도농업기술원 원예연구팀  
E-mail : smsjeju@jeju.go.kr  
Tel : (064)760-7241 Fax : (064)760-7299
  - 5) 농촌진흥청 에너지환경공학과  
E-mail : kimjk1960@korea.kr  
Tel : (031)290-1812 Fax : (031)290-1840
  - 6) 농촌진흥청 에너지환경공학과  
E-mail : jkjang1052@korea.kr  
Tel : (031)290-1815 Fax : (031)290-1840
  - 7) 농촌진흥청 에너지환경공학과  
E-mail : lee0hm@korea.kr  
Tel : (031)290-1816 Fax : (031)290-1840

로서 유망한 자원이다. 이미 제주지역에서는 2005년부터 지하공기열을 직접 이용하는 냉난방시스템을 제주지역의 농업시설 냉난방 시스템으로 개발하여 현재 300여개소가 보급되어 있으며, 호접란, 한라봉, 양돈, 양계 등 보급 분야 또한 다양하다.

그러나 지하공기층에서 토출되는 지하공기는 상대습도가 90%이상이어서 과습으로 인한 작물의 병발생이 우려되며, 온도가 15~18℃이므로 망고, 한라봉 또는 하우스밀감과 같은 고온성 작물의 난방용으로 부적절하며, 지하공기를 시설내로 직접 공급하기 때문에 온실내부의 공기압력이 높아져서 틈새손실이 커질 우려가 있다.

본 연구에서는 지하공기로부터 열을 흡수할 수 있는 공기-물 직접접촉식 열교환기를 개발하여 히트펌프의 열원으로 이용하고자 하였으며, 지하공기와 직접접촉식 열교환기 그리고 히트펌프로 구성된 농업시설 난방시스템의 성능을 분석하였다.

## 2. 재료 및 방법

실험장치는 크게 지하공기로부터 열을 흡수하는 공기-물 직접접촉식 열교환기, 냉난방열을 생산하는 히트펌프시스템, 히트펌프에서 생산된 냉난방열을 저장하는 축열조 및 냉난방열을 온실내로 방출하는 팬코일 유닛으로 구성하였다.

지하공기로부터 열을 흡수하는 공기-물 직접접촉식 열교환기는 직경 1m, 높이 2.5m의 원통중간으로 지하공기가 유입되어 직경 30cm의 “ㄱ”자형 관을 지나 지하공기가 원통내부에서 상승하면서 물과 직접 접촉하여 약 16℃의 공기로부터 열을 전달 받아 히트펌프의 열원으로 작용하는 원리이다. 이때 공기와 물의 열전달 시간을 증가시키기 위해 원통내부는 열전달을 촉진시키기 위한 플라스틱 충전물질로 채워지게 되며, 충전물질의 표면을 타고 물이 흘러내리면서 공기와 열을 교환하게 된다. 본 시스템은 제주 서귀포시 소재의 농업기술원 구내 포장에 설치하였으며, 난방면적은 330m<sup>2</sup>(100평)으로 하였다. 그림 1은 지하공기를 이용하는 농업시설 난방시스템의 개략도이며 표 1은 실험장치의 사양을 나타낸다.

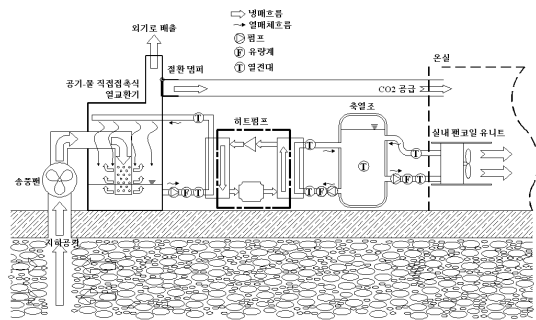


Fig. 1 Schematic of heat pump system using ground air as heat source.

지하공기를 이용한 농업시설 난방시스템의 난방특성을 분석하기 위해 응축기, 증발기 및 축열조 입구와 출구에 T type 열전대 및 초음파유량계(PT868, Panametrics, Norway)를 설치하여 데이터로거(MV200, Yokogawa, Japan)를 통해 데이터를 수집하였다. 또한 소비전력은 전력량계(CW240,

Yokogawa, Hioki, Japan)로 측정하였고 식(1)을 이용하여 난방성능계수를 산출하였다.

$$COP_H = \frac{\rho_w \cdot V_w \cdot c_w \cdot (T_{w,o} - T_{w,i})}{P_{HP}} \dots \dots \dots (1)$$

Table 1 Specification of heat pump system using ground air as heat source

Items		Specification	
Direct contact heat exchanger	Material	PE and PVC	
	Diameter (mm)	1,000	
	Height (mm)	2,500	
	Heat transfer fluid	Water	
Heat pump system	Compressor	Type	High temperature scroll type
		Capacity	10 RT
		Voltage	380 V, 3 Phase
	Condenser/Evaporator	Flat type heat exchanger	
Refrigerant	R22		
Thermal storage tank	Diameter (mm)	1,430	
	Height (mm)	2,000	

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 개방회로에서의 난방성능계수

그림 2는 개방회로에서의 히트펌프의 난방열량 및 성능계수를 나타낸다. 여기서 개방회로라 함은 응축기에서 열교환된 온수를 외부로 배출시키는 형태이며, 밀폐회로는 축열조 내부의 물이 응축기와 축열조를 계속 순환하면서 축열조의 물이 일정 온도까지 도달하게 하는 과정을 말한다. 개방회로에서 히트펌프의 난방성능계수는 4.3 ~ 5.5 수준으로 우수한 결과를 얻었으며, 이때 난방열량은 35,000 ~ 41,000kcal/h 수준이었다. 또한 공기-물 직접접촉식 열교환기에 의해 지하공기로부터 얻는 열량(증발열량)은 28,000 kcal/h 수준이었다.

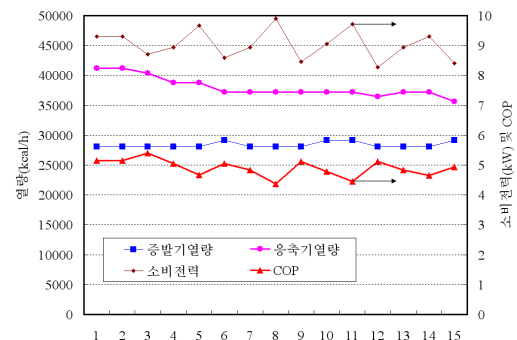


Fig 2. Heat capacity and COP in open loop.

### 3.2 축열가동(밀폐회로)시 각부 온도

그림 3은 밀폐회로에서 축열하는 동안의 응축기와 증발기의 입출구 온도 및 공기-물 직접접촉

식 열교환기의 입출구 공기 온도를 보여준다. 3톤 용량의 물을 18℃에서 49.5℃까지 가열하는 시간은 약 3시간이 소요되었으며, 지하공기 입구 온도는 축열기간 내내 약15℃를 유지하였다. 반면 지하공기 출구 온도 및 증발기 입출구 온도는 응축기 입출구 온도가 상승하면서 초기에는 하강하다가 다시 상승하는 형태를 보여주었다. 이는 축열가동 초기에는 축열조 내부의 온도가 낮아 응축기에서의 열전달 속도가 크기 때문이며, 일정 시간이 흐른 후에는 축열조 내부온도가 상승하여 응축기에서의 열전달 속도가 초기보다 느려져서 점점 더 흡수열량이 줄어들면서 증발기 입출구온도가 상승하고 동시에 지하공기 출구온도도 상승하는 것으로 판단된다.

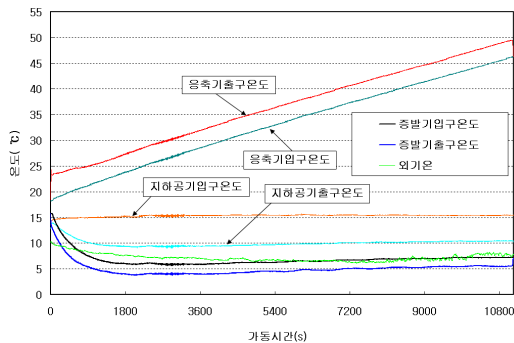


Fig 3. Temperature variation in close loop.

### 3.3 축열가동(밀폐회로)시 각부 온도

그림 4는 밀폐회로 축열가동시 난방성능계수를 나타낸다. 난방성능계수는 가동 초기에는 5.0수준이었으며, 응축기 출구 온도가 50℃까지 높아짐에 따라 2.5까지 떨어지는 것으로 나타났다. 이때 응축열량은 40,000 kcal/h에서 27,000 kcal/h로, 증발열량은 30,000 kcal/h에서 18,000 kcal/h로 하강하였다. 반면 응축기 출구온도의 상승으로 인하여 히트펌프의 소비전력은 가동 초기 9.0kW에서 12.5kW까지 상승하였다.

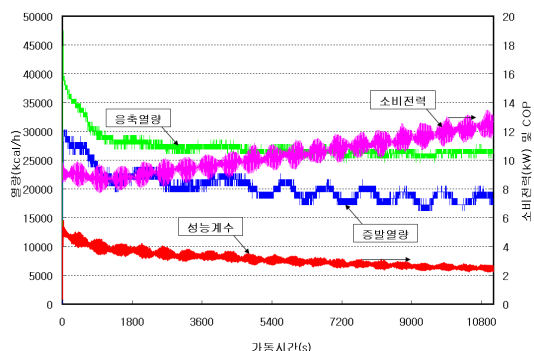


Fig 4. Heating COP in operating thermal storage tank

### 3.4 온실난방효과

그림 5는 축열조의 축열된 열매체(물)가 팬코일 유닛를 거쳐 온실을 난방하면서 축열조의 부속 열량을 히트펌프가 보충하는 온실난방모드에서의 실내온도 변화 및 지하공기 입출구, 증발기 입

출구 온도를 보여준다. 그림에서 보는 바와 같이 온풍난방기가 설치된 온실은 난방기 가동여부에 따라 19℃에서 26℃까지 변화하였으며, 히트펌프가 설치된 온실은 실내온도 편차가 약 2℃ 정도로 나타났다.

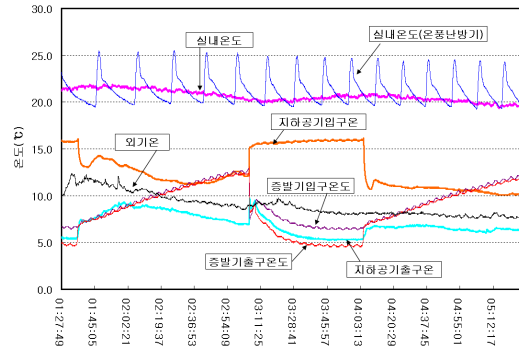


Fig 5. Heating effect of greenhouse.

## 4. 결론

개방회로에서 히트펌프의 난방성능계수는 4.3 ~ 5.5 수준이었으며 난방열량은 35,000 ~ 41,000 kcal/h 수준이었다. 또한 밀폐회로에서의 난방성능계수는 초기 5.0~2.5까지 변화하였으며, 응축열량은 40,000 ~ 27,000 kcal/h, 증발열량은 30,000 ~ 18,000 kcal/h로 나타났다. 이때 소비전력은 초기 9.0에서 12.5 kW까지 상승하였다.

## 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. Akdenir. 2003. Energy and exergy analysis of a ground source (geothermal) heat pump system. Energy conversion and management 45. pp. 737-753
- [3] Lund, J. W. 2003. Direct-use of geothermal energy in the USA. Applied Energy, Vol. 74. pp. 33-42
- [4] Sutphin, S. E. 1994. Heat pumps: Installation and trouble shooting. The Fairmont Press Inc.
- [5] Son, K. C. and Kim, M. K. 1998. Influences of Indoor Light, Temperature, Absolute Humidity and CO<sub>2</sub> Concentration on the Changes of Transpiration and Photo-synthesis Rate of *Pachira aquatica* and Their Statistical Modeling. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 39:605-609
- [6] Lee, J. H., Lee, Y. B. Kwon, J. K. Kang, N. J. Kim, H. J. Choi, Y. H. Park, J. M. and Rhee, H. C. 2006. Effect of Greenhouse Cooling and Transplant Quality Using Geothermal Heat Pump System. Journal of Bio-Environment control, 15(3):211-216