

지열 히트펌프를 이용한 온실 냉난방 효과 Performance of Geothermal Heat Pump for Greenhouse Heating and Cooling

강연구* · 이용범 · 이재한¹ · 유영선

농업공학연구소 · 원예연구소¹

Youn Ku Kang* · Yong Beom Lee · Jae Han Lee¹ · Young Sun Ryou
National Institute of Agricultural Engineering, RDA, Suwon 441-100, Korea
¹National Horticulture Research Institute, RDA, Pusan 618-800, Korea

서 론

세계기후변화 협약과 연일 계속되는 유가 상승으로 인하여 모든 나라는 에너지 위기의 상황에 처해있으며, 이 두 가지를 동시에 해결할 수 있는 방안으로서 대체에너지의 개발에 관한 연구가 적극적으로 수행되고 있다. 그 중 지열히트펌프 시스템은 대부분의 나라에서 적용이 가능한 냉난방 시스템으로 주목받고 있다. 지중열은 태양에너지가 축열된 형태이며 열용량 방대할 뿐만 아니라 이용하기 편리하고, 온도 수준이 안정되어 있어 히트펌프의 열원으로 그 가능성이 무궁무진하다.

지열히트펌프는 연중 일정한 지중온도를 이용하여 여름철 냉방운전시에는 토양을 히트싱크로, 겨울철 난방운전시에는 히트소스로 이용하여 건물, 온실 등을 냉난방할 수 있는 복합형 시스템이다.

대체에너지로서 지열히트펌프는 국가적인 차원에서 보급이 장려되어 매년 수요가 크게 증가하고 있으며, 국내의 기후조건을 고려할 때 농업에 이용가능한 냉난방용 대체에너지원은 지열히트펌프 시스템이 보급성이 가장 우수한 것으로 판단된다. 농업용 지열히트펌프 시스템의 수요처는 대형온실, 축사, 농산물 저장 및 건조시설 등으로서 구분할 수 있으며, 보급을 위해서는 설치대상의 냉난방 부하 특성을 고려한 최적설계 및 시스템 개발이 필요하다.

또한 지열 히트펌프 시스템의 시장성과 보급성을 높이기 위해서는 이미 개발한 지열 히트펌프의 초기 투자비용을 줄이고 냉난방 효율을 높이기 위한 추가 연구가 필요하며, 이를 위해서는 축열시스템의 도입이 요구된다.

본 연구에서는 지열 히트펌프 시스템의 시장성과 보급성, 농업에의 적용성을 검토하기 위하여, 지열 히트펌프 시스템을 실제 온실에 적용하여 냉난방 효과를 분석하였다.

재료 및 방법

1. 실험 장치

실험은 부산 원예연구소 시설원예시험장의 구내시험포장에 지열 히트펌프 시스템을 설치하여 실시하였다. 시험포장의 토성 및 토양의 함수율은 표 1과 같다. 먼저 온실이 들어설 자리에 땅을 굴착하여 지열교환시스템을 매설하였으며, 지열 교환시스템은 그림 1과 같이 slinky and spiral 형태로 하였다. 온실은 지열교환시스템을 매설한 후 그 위에 설치하였으며, 단동형 비닐하우스 5m×60m으로 90평이며 효율적이고 경제적인 냉난방을 위하여 그림 2와 같이 비닐하우스내에 보온터널을 설치하여 냉난방공간을 최소화하고, 냉난방 배관은 그림 3과 같이 코일튜브형 배관파이프(coil tube)와 팬코일 유니트(FCU)를 설치하였다. 그림 4에 나타난 지열 히트펌프에는 7.5PS의 압축기를 탑재하였으며 전체 시스템의 주요 제원은 표 2와 같고, 그림 5에 전체 실험 시스템의 개략도를 나타내었다. 전체 실험 시스템은 지열교환시스템, 히트펌프 시스템, 보온터널 가온 시스템의 세부분으로 나눌 수 있다. 전체 실험 시스템을 난방 기준으로 설명하면 다음과 같다. 히트 소스로 작용하는 토양에 매설된 지열교환시스템을 통해 가열된 매체유(물)는 증발기를 통하여 히트펌프에 흐르는 냉매와 열교환하고, 그 냉매는 압축기를 거쳐 압축된 후 온도가 상승한다. 온도가 상승한 냉매는 응축기에서 보온터널 가온 시스템을 흐르는 매체유(물)와 열교환하고, 이 매체유는 팬코일유니트(FCU)와 코일 튜브를 직렬로 거쳐 보온터널을 난방한다. 냉방의 경우도 이와 유사하나 난방시 응축기가 증발기의 역할을 하며, 지중도 히트 소스에서 히트싱크의 역할로 바뀐다.

또한 대조구는 동일한 크기 및 규격의 온실로 가온은 40,000kcal/h급 관행 온풍기로 하였다.

2. 실험 방법

지열 히트펌프 시스템을 실제 온실에 적용하여 냉난방 효과를 분석하기 위하여 응축기의 입출구와 보온터널의 좌, 우, 중간측의 공기온도를 K type 열전대로 측정하고 데이터로거(mv200, Yokogawa, Japan)를 통해 수집하였다. 응축기 입출구의 유량을 초음파유량계(PT868, Panametrics, Norway)로, 히트펌프의 가동시 소비전력을 전력계(Hioki3166, Hioki, Japan)로 측정하여 식 (1)에 의해 지열히트펌프의 성능계수를 구하였다. 또한 적산 전력계로 지열히트펌프의 소비전력량을, 유량계(Model202, Contrec, Australia)로 관행 온풍기의 유류 소비량을 측정하여 난방 에너지 절약효과를 분석하였다. 난방실험은 2004년 12월 20일에서 2005년 4월 5일까지, 냉방실험은 2005년 7월 4일에서 9월 5일까지 실시하였다.

$$COP = \frac{Q_{cond}}{PO_{comp} \times 860 \text{ kcal/kW} \cdot h} \quad (1)$$

여기서,

Q_{cond} : 응축기의 방출 열량 [kcal/h]

PO_{comp} : 압축기의 소비 전력 [kW]

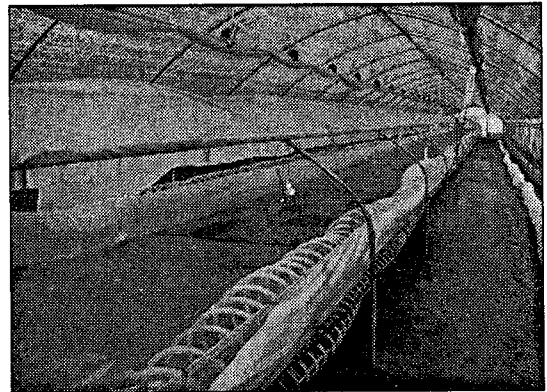
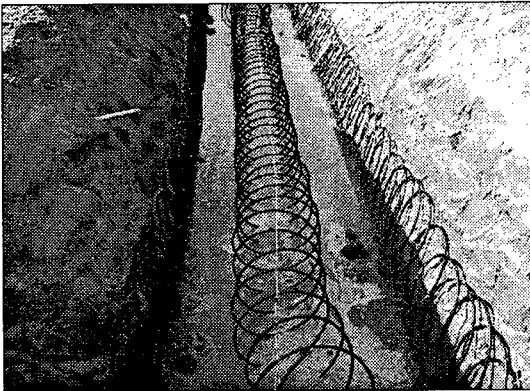


Fig. 1. View of the installed slinky + spiral heat exchange system

Fig. 2. View of the installed thermal tunnel in greenhouse

Table 1. Texture and moisture content of the soil

Item	Depth		
	1m	2m	3m
Composition	sand 79%	sand 37%	sand 10%
	slit 18%	slit 54%	slit 72%
	clay 3%	clay 9%	clay 18%
Moisture content(%)	38	51	63

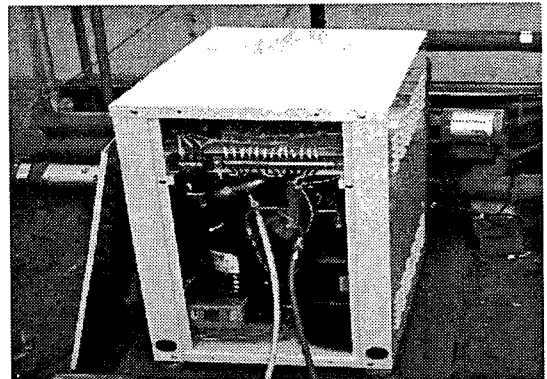
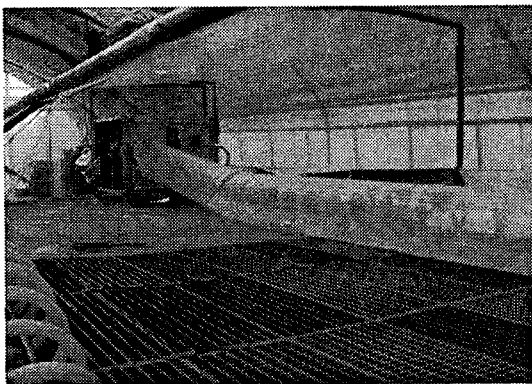


Fig. 3. View of the installed coil tube and fan coil unit

Fig. 4. View of geothermal heat pump

Table 2. Overall specification of the geothermal heat pump system

Component		Specification	
Geothermal Heat exchanger system	Type	slinky + spiral	
	Material	HDPE (high density PE)	
	Pipe diameter (mm)	outside diameter 27, inside 21	
	Pipe Length (m)	1,500 (slinky 1,000, spiral 500)	
Heat pump system	Compressor	Model	ZR81KC-TF5
		Type	Screw type
	* Performance Evap(°C)/cond(°C) 7.2/37.8	Capacity(HP)	7.5
		Capacity(kcal/hr)	24,250
		Power(watt)	5,050
		Current(amp.)	16.3
		Mass flow(g/s)	156
		Condenser	0.051m ² /p, 66ea, total area
	Evaporator	3,366m ² , size 112×168.4×526mm	
	Refrigerant	R22	

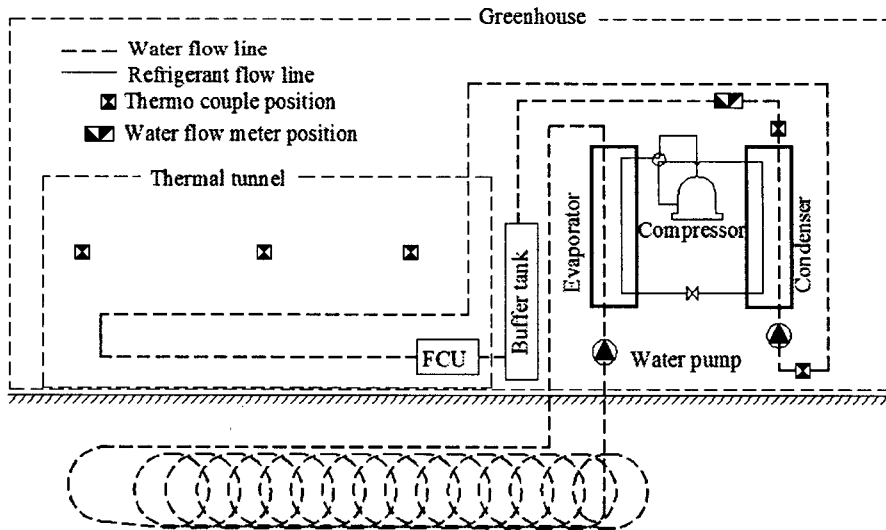


Fig. 5. Schematic diagram of geothermal heat pump system and thermal tunnel heating system

결과 및 고찰

1. 냉난방 효과

그림 6은 지열히트펌프와 온풍기의 난방효과를 분석한 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이

지열히트펌프는 온풍기 온실에 비해 난방효과가 크게 차이를 보이지 않았다. 외기온이 -5.8°C 로 가장 낮았던 2005년 2월 2일 오전 8시경에도 지열히트펌프가 가온하는 온실의 온도는 13.8°C 로 온풍기가 가온하는 온실의 온도와 큰 차이가 없었다.

그림 7은 지열히트펌프의 야간 냉방효과를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 야간에는 외기온과 지열히트펌프 냉방 온실의 온도차가 $4\sim 5^{\circ}\text{C}$ 정도인 것으로 나타났다. 주간에는 외기 온과 온실온도가 같은 것은 주간에는 냉방을 하지 않았기 때문이다. 주간에 냉방을 하지 않은 것은 지열히트펌프의 설계시 난방을 기준으로 하였기 때문으로 냉방 부하가 큰 여름철의 주간에는 맞지 않기 때문이며, 야간 냉방만으로도 충분히 작물에 냉방효과를 줄 수 있기 때문이다.

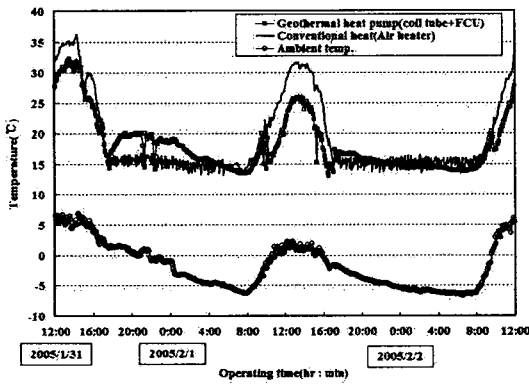


Fig. 6. Heating effect between geothermal heat pump and conventional heating

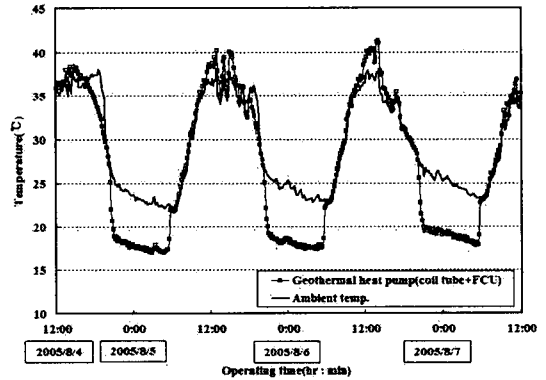


Fig. 7. Cooling effect by geothermal heat pump during nighttime

2. 냉난방 성능 계수

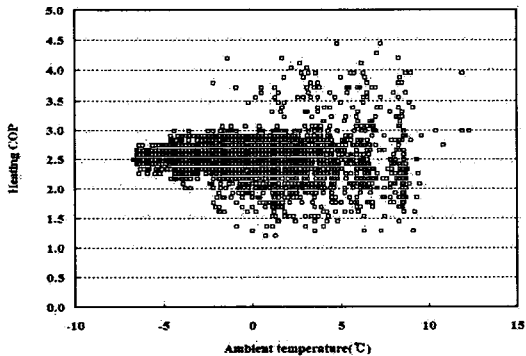


Fig. 8. Heating COP of geothermal heat pump

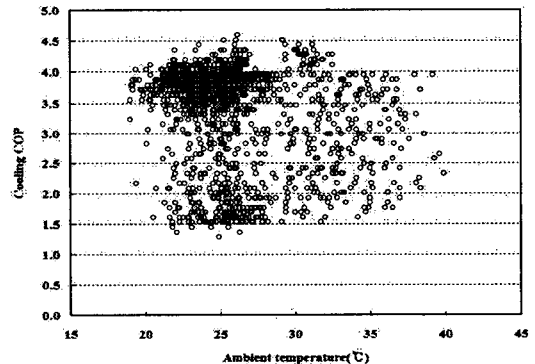


Fig. 9. Cooling COP of geothermal heat pump

그림 8은 지열히트펌프의 난방성능계수를 보여준다. 그림에서 보는 바와 같이 난방성능계수는 1.2에서 4.4수준이었으며, 평균 2.5수준이었다. 또한 공기열원 히트펌프는 외기온에 대해 변화가 있는 반면 지열히트펌프의 난방성능계수는 변화가 적은 것으로 나타났다. 이는 공기에 비해 지열이 더 안정적이기 때문인 것으로 생각되며, 지열히트펌프가 농업용 대체에너지원으로 손색이 없는 것으로 사료된다. 그림 9는 지열히트펌프의 냉방성능계수를 나타낸 것으로 성능계수는 1.3에서 4.5수준이었으며, 평균 3.5수준이었다. 냉방성능계수도 난방성능계수와 같이 외기온의 변화에 대해 큰 증감의 폭이 거의 없는 것으로 나타났다.

3. 난방비용 절약 효과

Table 3. Energy saving effect between geothermal heat pump and conventional heating(air heater)

Heating method	Electric Power Consumption (kWh)	Light Oil Consumption (ℓ)	Heating Cost Analysis	
			won	Cost Saving Index(%)
Geothermal Heat Pump + Thermal Tunnel	7,903.2	-	336,071	12.3
Air Heater	1,541.9	5,635	2,742,818	100

* 7.5kW×1,060원, 36.1원/kW, 부가세(0.1%), 전력기금(0.046%)

* 면세경유가격 : 475원/ℓ (2004년 12월 20일 ~ 2005년 4월 5일)

표 3은 지열히트펌프와 온풍기의 전력소모량과 유류소모량에 따른 난방비용 절약효과를 나타낸 것이다. 표에서 보는 바와 같이 지열히트펌프에 의한 전력소모량은 약 3.5개월 동안 7,903.2kW이었으며, 이를 가격으로 환산하면 336,071원이었다. 이에 반해 온풍기는 같은 기간동안 전력소모량은 1,541.9kW이었고 유류소모량은 5,635ℓ이었으며, 이를 가격으로 환산하면 2,742,818원이었다. 또한 온풍기의 난방비용을 100%으로 하여 지열히트펌프와 비교했을 때 지열히트펌프를 이용한 보온터널의 난방비용은 12.3%로서 87.7%의 난방비 절약효과가 있는 것으로 나타났다.

요약 및 결론

지열 히트펌프 시스템의 시장성과 보급성, 농업에의 적용성을 검토하기 위하여, 지열 히트펌프 시스템을 실제 온실에 적용하여 냉난방 효과를 분석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 외기온이 -5.8°C 로 가장 낮았던 2005년 2월 2일 오전 8시경에도 지열히트펌프가 가온하는 온실의 온도는 13.8°C 로 온풍기가 가온하는 온실의 온도와 큰 차이가 없었으며, 야간 냉방시 외기온과 지열히트펌프 냉방 온실의 온도차가 $4\sim 5^{\circ}\text{C}$ 정도인 것으로 나타났다.
2. 지열히트펌프의 난방성능계수는 1.2에서 4.4수준, 냉방성능계수는 1.3에서 4.5수준으로 나타났으며, 외기온 변화에 대해 성능계수 변화가 적어 지열히트펌프가 농업용 대체에너지 원으로서 손색이 없는 것으로 판단되었다.
3. 지열히트펌프와 온풍기의 전력소모량과 유류소모량에 따른 난방비용 절약효과를 비교한 결과, 지열히트펌프를 이용한 보온터널의 난방비용은 약 3.5개월 동안 336,071원이었으며, 온풍기를 이용하는 온실은 같은 기간동안 2,742,818원으로 분석되었다. 또한 온풍기를 이용한 온실의 난방비용을 100%으로 하여 지열히트펌프와 비교했을 때 지열히트펌프를 이용한 보온터널의 난방비용은 12.3%로서 87.7%의 난방비용 절약효과가 있는 것으로 나타났다.

인 용 문 헌

1. 임효재 외 3인. 2004. 지열 냉난방 시스템의 성능 및 경제성 분석. 한국에너지공학회 13(4):296-300
2. 송현갑. 2000. 외기온 변화에 따른 공기-공기/공기-물 형태로 된 복합형 열펌프 시스템의 성능 특성 분석. 한국농업기계학회지 25(4): 273-278
3. 송현갑 외 12인. 2002. 열에너지공학. 문운당
4. 윤정인. 2004. 지열히트펌프의 기술개발 동향. 한국냉동공학학회지 : 811-816
5. 이상용. 1976. 열펌프시스템의 최적설계에 관한 연구. 한국과학기술원 석사학위논문