

온실용 수평형 지열 히트펌프 시스템의 성능분석

박 용 정

(주)공간코리아 기술연구소 소장

1. 서론

지열에너지는 인류가 가지고 있는 가장 오래된 에너지자원 중의 하나이며, 농업분야에서 실용화가 가장 유망한 대체에너지 자원으로 평가되고 있다. 태양열, 풍력 등 다른 대체에너지에 비하여 초기투자비가 적게 들고 소규모 이용이 가능하며, 지중열교환시스템의 수명이 50년으로 반영구적이다.

우리나라 시설원에 재배면적은 2006년 말 98,885ha이며, 농업용으로 공급되는 석유에너지의 60% 이상이 온실의 난방에 소비되고 있다. 2000년도 초 시설원에 대한 재배면적 증가는 벼농사 보다 소득이 높은 화훼 시설채소 등에 대한 정부의 시설농업 지원정책이 큰 원인이라 할 수 있으며, 국제 유가의 상승에 따른 농가 난방비 증가에 따라 2004년을 기준으로 감소 추세를 나타내고 있다. 그동안 보급된 시설원에는 생산 자동화와 고품질 생산에 치중하여 왔고 상대적으로 난방비 절감 및 효율 향상에 대한 연구 및 지원은 미흡한 점이 사실이다. 국내·외적으로 환경규제 강화에 따라 화석에너지에 대한 사용의 어려움이 가중되고 있는 시기에 청정에너지인 지열을 농업적으로 이용할 수 있는 연구는 시급한 과제이다.

전 세계 지열원 히트펌프 설치 건수는 2000년에 비해 무려 세배나 증가했으며 전체 지열직접

이용 설비용량 중 56.5%를 차지하고 있으며 설비용량은 2005년 말 15,723MWt로 보고하였다. 미국의 지열히트펌프 증가량은 연간 11.0%의 증가율을 보여 왔으며, 지역별로 북서부 13%, 중서부 45%, 남부 36%, 서부 8%로 대부분이 난방보다는 냉방용으로 사용하고 있으며, 열원방식별 지열히트펌프의 설치 비율은 수직형 44%, 수평형 36% 그리고 지하수 이용 히트펌프가 20%를 차지하고 있다고 보고하였다.

선진 외국은 지열이용에 대한 연구가 일찍부터 활성화되어 지열원 히트펌프 시스템의 설계에 대한 기준을 제시하였고, 많은 설치사례들에 대한 자료를 엔지니어들에게 보급함으로써 지열원 히트펌프 이용을 촉진시키고 있다. 현재 우리나라에서도 지열에 대한 관심이 커지면서 설치가 증가하고 있는데 주로 주거공간을 대상으로 하는 반면 온실과 같이 겨울철 작물을 대상으로 지열원 히트펌프 시스템이 설치된 사례는 많지 않다. 온실에 지열을 적용한 외국사례로 지열과 태양열을 결합한 온실난방시스템에 관하여 연구를 한 바 있는데 지중열교환기는 수직형을 사용하였다. 국내에서는 태양열 집열기를 이용한 시설원에 난방 시스템 실증연구를 수행하였다.

일반적으로 온실은 작물을 재배하기 위한 비교적 넓은 면적을 가지고 있고 대부분 비닐하우스나 유리실로 되어 있는데 일반건물과는 달리 실내로 태양복사에너지가 용이하게 유인되도록 되



(a)



(b)

[그림 1] 대상 온실의 모습

어있다. 이 때문에 일출이후에는 외기의 온도가 실내온도보다 낮은 상태라도 실내로 유입되는 태양복사에너지 때문에 실내온도가 상승하여 난방의 필요성이 적어진다. 수평형 지열원 히트펌프 시스템의 경우 설치비용이 수직형에 비해서 저렴하지만 비교적 넓은 설치면적을 요구하는 단점을 가지고 있는데, 온실은 넓은 면적을 가지고 있기 때문에 수평형 지열원 히트펌프 시스템설치가 가능하다. 그리고 난방이 요구되는 시간이 주로 야간이기 때문에 축열조를 설치하여 주야간 지중으로부터의 채열을 축열조에 저장한 후 야간에 집중적으로 사용한다면 지열을 효과적으로 사용할 수 있을 것으로 본다.

본 연구에서는 축열조를 채용한 수평형 지열원 히트펌프 시스템을 온실에 적용하였을 때 지열원 히트펌프시스템의 난방부하대응능력과 석유를 사용하는 온풍기와 비교했을 때 난방비 절감효과를 알아보려고 하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구는 온실 전체면적 $30\text{m} \times 73\text{m}$ (약 650평) 중 보온덮개 내부면적 $20\text{m} \times 69.5\text{m}$ (약

600평)을 대상으로 하였다. 그림 1은 4개의 동으로 이루어진 온실의 내·외부 모습이다. 대상온실의 외피는 비닐 2겹이며, 내부는 2m 높이에 보온덮개로 되어 있다. 재배 작물은 완숙토마토이며 필요한 실내유지온도는 14°C 내외이다.

실내부하는 시스템 용량을 결정하는데 중요한 요소이다. 태양복사에너지는 작물의 성장에 필수적인 요소일 뿐 아니라 난방비 절감에 매우 유의한 요소이다. 우리나라의 경우 기상관측소에서 일사량을 측정하는 곳은 대도시 위주이어서 실증시험 장소인 영천지방의 기후자료를 직접 이용하기가 불가능하여 가까운 대구지방의 기후자료를 이용하였다. 대구지방의 기상데이터 중에서 11월, 12월, 1월, 2월, 3월의 값을 적용하여, 실내온도가 14 일 때의 난방부하 값을 계산하였는데 계산 방법은 시간별 설계 외기온도를 작성한 후 일몰 이후 야간에는 보온커튼이 있는 상태로 난방부하를 계산하였다. 일출이후 주간에는 상부의 보온커튼이 없고 비닐을 투과한 태양복사가 실내온도를 상승시키는 것으로 계산하였다. 설계난방부하를 그림 2에 나타내었으며, 1월 21일 일출직전에 최고치로 나타난 125.4kW 값을 선정하였고, 이 날의 24시간 동안 필요한 난방에너지는 $5,561\text{MJ}$ 로 나타났다.

하루 동안의 필요한 전체 난방에너지를 실시간의 평균부하로 환산하면 64.4kW인데, 이를 초과하는 실시간 난방부하는 축열조로 대처하게 하였다. 하루 중 평균 공급열량 64.4kW로 하고 각 시간의 피크값과의 차이를 합산하면 1,702MJ이 된다. 축열조 물의 온도 폭을 10로 가정할 경우 필요한 물의 양은 안전율 20%를 감안하면 48.6m³이 되어 축열조의 용량은 50m³으로 선정하였다. **그림 3**은 실험기간동안 최대난방부하가 발생한 2006년 12월 29일의 일일부하 변동을 나타내었다. 일출직전에 82.4kW로 최고치를 나타내며, 24시간 동안 필요한 난방에너지는 4,312MJ로 나타났다.

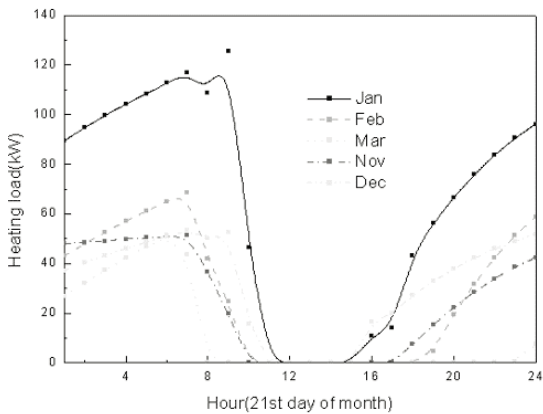
본 연구에서 적용한 지중열교환방식은 수평매립 방식이다. 온실 내부에 70m(L) × 0.4m(W)의 트렌치를 한 동에 5개씩 총 1400m(70m × 5trench/동 × 4동)의 지중열교환기를 설치하였다. 지중열교환기는 PE(Poly Ethylene, SDR11 40mm)로 하여 한 트렌치에 4개의 파이프를 직렬로 연결하였고 매설 깊이는 1.2m로 선정하였다.

제작된 히트펌프시스템의 개략도는 **그림 4**와 같다. 실증시험장치는 지중열교환기, 히트펌프, 열을 저장하는 축열조, 팬코일유닛(FCU: Fan Coil Unit)으로 크게 4개의 시스템으로 분류할 수 있다. 지중열교환기 순환유체는 동절기와 증발기 과냉

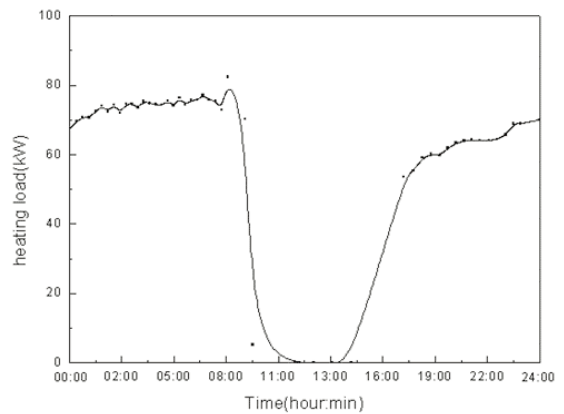
에 의한 동파를 방지하기 위해서 일반적으로 부동액을 사용하는데, 본 실험에서는 지중 열교환기 내부의 유체가 누설이나 유지보수 시 유출될 수 있는 점을 감안하여, 작물에 영향이 없는 Ethanol 20%를 첨가하였다.

히트펌프의 작동유체는 R-22를 사용하였고, 증발기 및 응축기는 관형 열교환기를 사용하였다. 실내에는 FCU 24대를 설치하여 내부온도를 가능한 균일하게 유지하도록 하였다. 히트펌프 시스템의 사양을 **표 1**에 나타냈다.

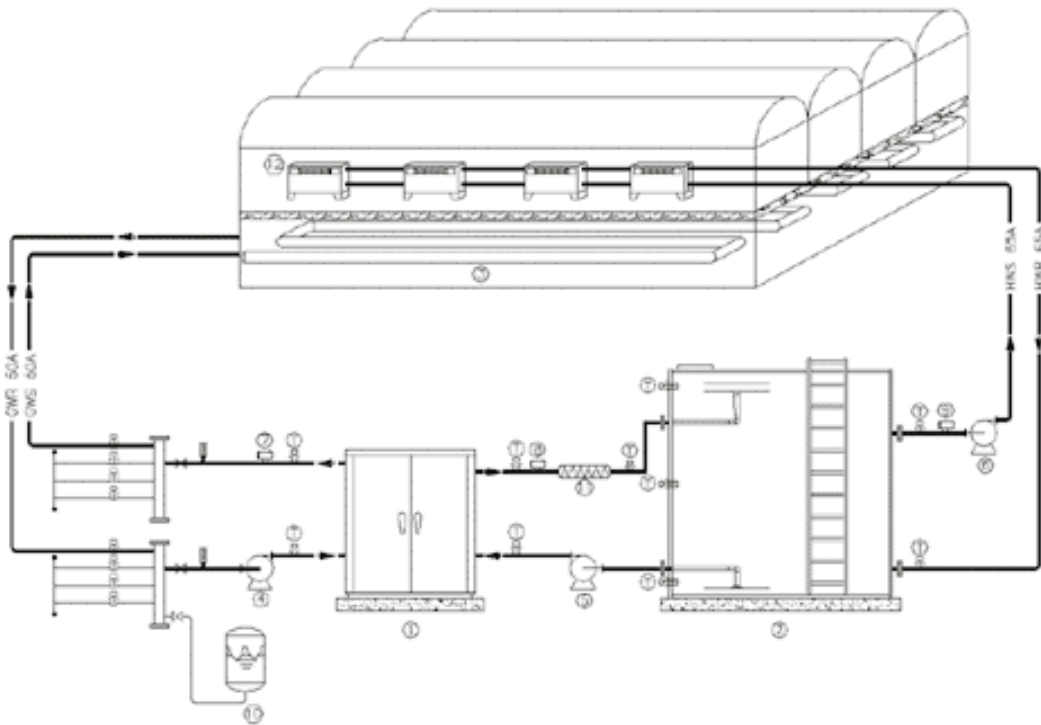
히트펌프의 흡수열과 방출열을 측정하기 위해서 증발기와 응축기에 물용 유량계를 부착하고 각각 입·출구에 PT 100 을 설치하였다. 축열조에는 데이터 측정용과 제어용 온도센서를 설치하였다. 온실내부의 열부하에 의해 소모되는 난방열량을 측정하기 위해서 축열조와 FCU에 연결된 배관에 유량계와 PT 100 을 설치하였다. 온실 내부에 공기온도를 측정하기 위한 열전대와 히트펌프를 운전하기 위한 제어용 온도센서를 설치하였고 FCU의 토출측에 PT 100 을 설치하여 토출공기 온도를 측정하였다. 히트펌프장치는 압축기 및 열교환기 전후에 온도센서와 압력센서, 냉매유량계를 설치하여 실시간으로 작동상태를 확인하였다. 히트펌프의 압축기 및 각각의 순환펌프와 FCU에 소모되는 전력을 측정하였는데 모든 측정 데이터는



[그림 2] 온실난방 설계부하(14℃)



[그림 3] 온실최대난방부하(2006년 12월 29일)



- | | |
|---------------------------------------|---------------------------------|
| 1 : Heat pump | 7 : Geothermal water flow meter |
| 2 : Thermal storage tank | 8 : Condenser water flow meter |
| 3 : Geothermal heat exchanger | 9 : Fan coil unit flow meter |
| 4 : Geothermal water circulation pump | 10 : Closed expansion tank |
| 5 : Condenser water circulation pump | 11 : Electric heater |
| 6 : Fan coil unit circulation pump | 12 : Fan coil unit |

[그림 4] 온실용 수평형 지열히트펌프 시스템 개략도

MX100을 통해서 PC에 저장된다. 데이터 취득간격은 5초이며, 측정 프로그램은 DAQWORX를 사용하였다.

2.2 실험방법

실내의 온도가 설정치 이하가 되면 난방이 필요한 것으로 하고 축열조의 온수를 실내에 설치된 FCU로 공급되게 하였는데 유량은 21m³/h로 일정하게 하였다.

축열조의 설정온도는 50℃이고 편차를 1℃로 설정하였다. 압축기는 축열조의 온도가 설정온도 미만이 되면 기동이 되게 하였다. 지중에서 열을 회수하여 증발기로 들어가는 지열수의 온도가 3

℃ 미만이면 압축기가 정지되고 지열수가 4℃ 이상이 되면 압축기가 다시 기동된다. 축열조 온도가 설정온도에 도달하면 압축기 및 응축기측 순환펌프는 정지한다. 지열측 순환펌프는 축열조의 축열이 완료 될 때까지 계속 운전되게 하였고 전체 시스템 운전은 PLC로 제어하였다.

소요동력 산출은 다음 식을 사용하였다.

$$W = V \times I \times \sqrt{3} \times PF \text{ (3상일경우)} \quad (1)$$

$$W = V \times I \times PF \text{ (단상일경우)} \quad (2)$$

열량계산은 다음 식을 사용하였다.

<표 1> 온실용 수평형 지열히트펌프 시스템 사양

Main circuit	Element	Specification
Ground coupling circuit	ground heat exchanger	material : polyethylene, diameter : ID=39mm length : 1400m circulation fluid : water(Ethanol 20%)
	circulation pump	range of volumetric flow rate : 24m ³ /h pressure head of water column : 20m power : 3.7kW
Refrigerant circuit	compressor	type : scroll refrigerant : R-22 capacity : 13.5kW × 2EA (at evaporating/condensing temperature of 7.2/54.4)
	heat exchanger (condenser)	type : Plate Heat Exchanger (PHE) plate material : SUS 304 heat transfer area : 17.7m ²
	heat exchanger (evaporator)	type : Plate Heat Exchanger (PHE) plate material : SUS 304 heat transfer area : 17.7m ²
	expansion device	type : Thermal Expansion Valve capacity : 15ton × 2EA
Thermal storage circuit	case material	case material : Fiberglass Reinforced Plastic(FRP) size : ∅ 4.0m × 4m(h) insulation material/thickness : urethane foam/50mm,
	circulation pump	range of volumetric flow rate : 18m ³ /h pressure head of water column : 12m power : 1.5kW
Fan coil circuit	fan coil unit	heating capacity : 8.8kW (at hot water temperature of 60℃) air flow rate : 17m ³ /min
	circulation pump	range of volumetric flow rate : 18.6m ³ /h pressure head of water column : 23m power : 3.7kW

$$Q_{load} = \dot{m}_{fcu} C_{p,fcu} (T_{i,fcu} - T_{o,fcu}) \quad (3)$$

$$Q_e = \dot{m}_{ew} C_{p,e} (T_{i,e} - T_{o,e}) \quad (4)$$

$$Q_c = \dot{m}_{cw} C_{p,c} (T_{i,c} - T_{o,c}) \quad (5)$$

성능계수(COP)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$COP_{sys} = Q_{load} / (W_{comp} + W_{pump} + W_{fcu}) \quad (6)$$

여기서, COP_{sys}는 실내로 공급한 열에 대해서 총 투입에너지(압축기, 펌프, FCU)를 고려한 것이다.

3. 결과 및 고찰

온실 내의 작물은 2006년 12월 20일에 정식을 하였다. 이때부터 히트펌프 시스템을 가동하였으며, 자동적인 연속운전을 충분히 확인한 후 데이터를 취득하였다. 데이터 분석기간은 1월 28일

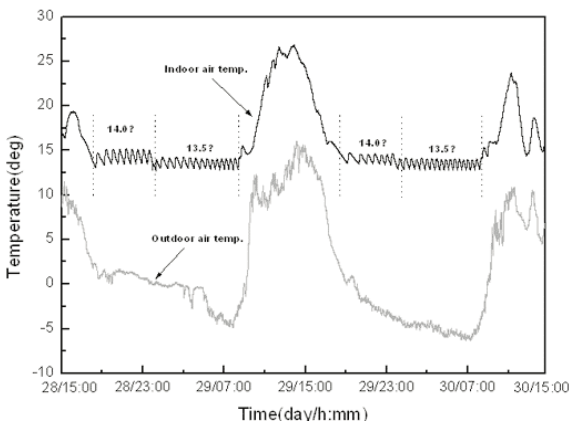
15시부터 30일 15시까지 48시간이다.

그림 5는 실내온도와 외기온도 변화를 나타낸다. 온실의 난방 설정온도는 15℃이며, 편차를 1로 설정하였다. **그림 5**에서 보는 바와 같이 28일 16시 이후부터 외기온도는 서서히 낮아지기 시작하였는데 이때의 실내온도는 외기온도하강속도에 비해서 급격히 내려감을 볼 수 있다. 주간에는 온실내부의 온도는 외기온도보다는 운량에 의한 일사의 영향이 클 것으로 사료된다. 실내온도가 설정온도 이하로 되면서 난방이 시작이 되었고 난방운전 이후는 외기온도 변화에 영향 없이 평균 14℃로 비교적 일정하게 유지되었다. 다음날 일출이 시작되면서 외기온도가 상승하기 시작하였고 얼마 후 실내온도도 급상승하여 난방공급이 불필요하게 됨을 알 수 있다. 29일의 일출시간은 7시 28분으로 나타났는데 외기온도는 8시 전후로 상승하기 시작하였다. 전체 난방기간 동안 실내온도와 외기온도의 차이는 일출 직전에 가장 크게 나타났다.

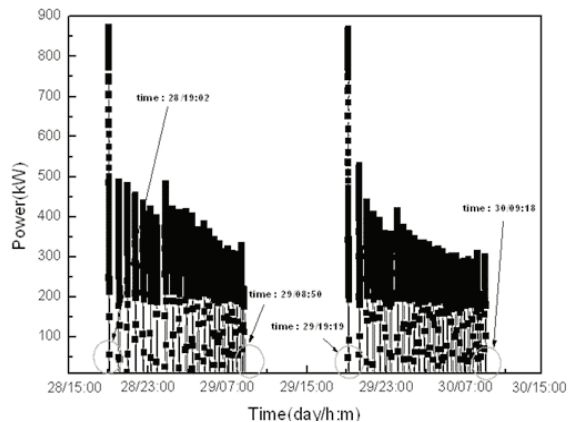
그림 6은 실시간 실내에 공급된 열을 나타낸다. 초기 난방개시 때 투입 열량이 크게 나타났는데 이는 실내의 난방수 공급배관 속에 차여있는 물의 온도가 낮아져 있는 상태에서 난방수 출구수온으로 나타났기 때문이다. 설정온도를 유지하기 위하여 주기적인 난방열이 공급되었는데, 28일

난방시작시간은 19시 02분이며 이때의 축열조 온도는 50.4℃이었고, 난방종료시간은 29일 08시 50분이며 축열조 온도는 47.1℃이었다. 29일 난방시작시간은 19시 19분이며 축열조 온도는 50.1℃이고, 난방종료시간은 익일 09시 18분이며 축열조 온도는 45.3℃로 난방수행시간은 각각 13시간 48분과 13시간59분이었다. **그림 6**에서 보는 바와 같이 초기에는 난방이 간헐적으로 공급되다가 시간이 지나면서 공급 횟수가 점점 빨라짐을 볼 수 있다. 이는 외기온도가 하강하면서 비례적으로 난방부하가 증가하기 때문으로 사료된다.

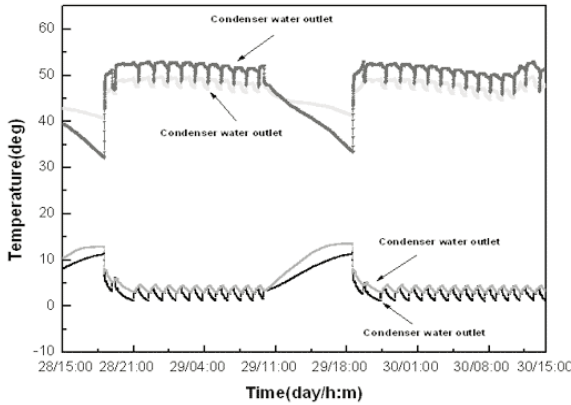
그림 7은 히트펌프의 응축기와 증발기를 지나는 물의 온도를 나타낸 것이다. **그림 7**에서 축열운전이 시작될 때 증발기로 유입되는 지열수 온도는 최고 11℃이었으며, 축열운전이 계속 진행되면서 입구온도는 4℃에서 2℃까지 하강하였다. 이는 히트펌프로 유입되는 지열수 최저온도를 제한하여 설정온도 이하에서는 히트펌프 작동이 멈추도록 하였기 때문이다. 초기 지열수 유입온도가 운전이 진행되면서 점차 낮아지는 것은 열교환기의 체열능력 보다 히트펌프의 흡열능력이 크기 때문이다. 일출이 후 난방이 종료되고 히트펌프의 작동이 완전히 멈춘 이후에는 지열수의 온도가 다시 상승하여 6 까지 도달하였다.



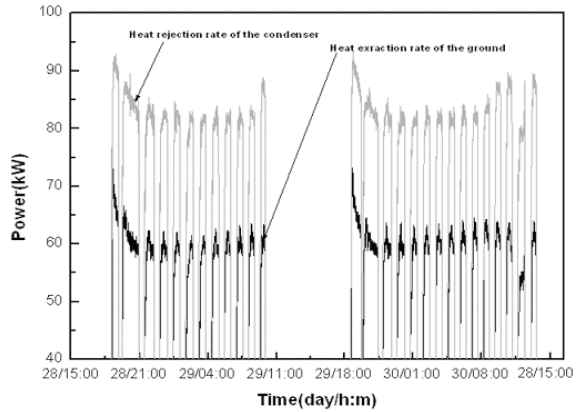
[그림 5] 온실의 실내·외 온도변화



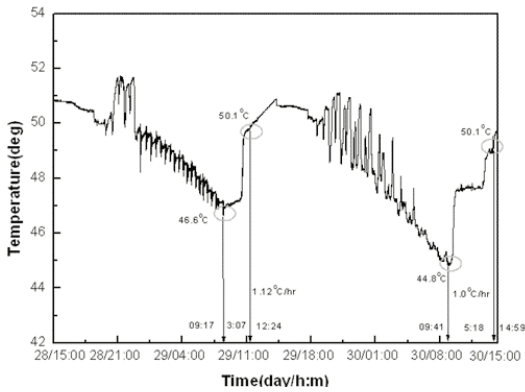
[그림 6] 온실의 실시간 에너지 소비량



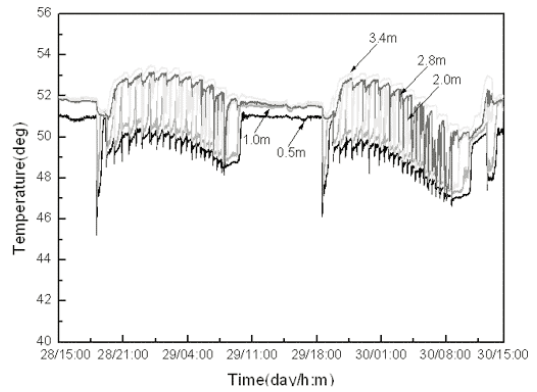
[그림 7] 지열수 및 축열수 온도변화



[그림 8] 히트펌프 제거열 및 흡수열



(a)



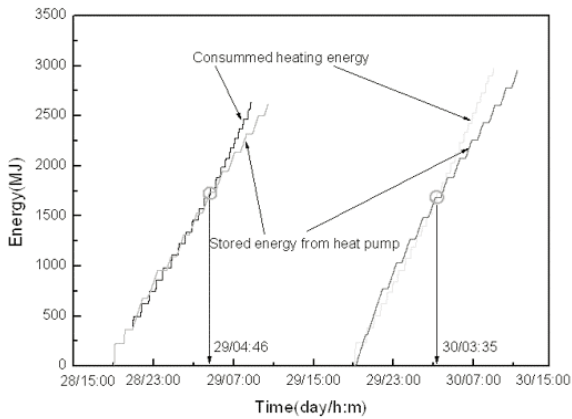
(b)

[그림 9] 대상 온실의 모습

그림 8은 히트펌프의 흡수열 및 제거열을 나타낸 것이다. 그림에서 상부변화량은 히트펌프가 축열조로 실시간 공급한 열을 나타낸 것인데 지열수 온도변화에 대해서 난방공급이 주기적으로 일어남을 볼 수 있다. 히트펌프의 작동시 축열조로 공급되는 열은 평균 83.6kW이었다.

그림 9의 (a)는 축열조 내부의 온도를 나타낸다. 제어용 온도센스의 위치와 근접한 데이터 취득 온도센스를 기준으로 축열조 내부 온도변화를 살펴 보았다. 축열조의 온도변화가 계단형태로 나타난 것은 히트펌프의 주기적인 열공급으로 인한 것이다. 축열조 내부온도를 보면 난방공급과 더불어

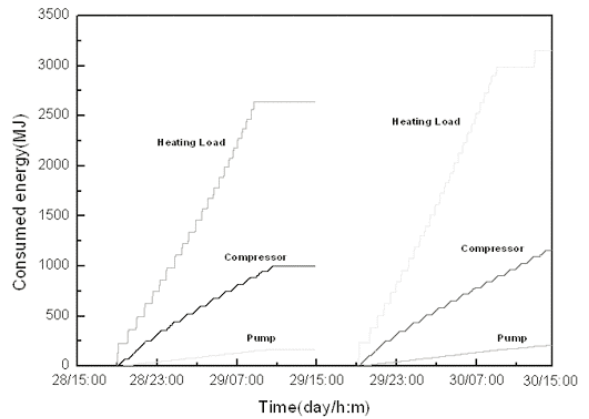
어 히트펌프의 작동이 시작된 후부터 얼마동안은 축열조의 온도를 설정치인 50°C 전후로 유지하고 있다가 시간이 더 지나면서 점차 낮아지는 것을 볼 수 있다. 초기에는 난방에 필요한 열을 히트펌프가 충당하고 있었는데 점점 더 많은 난방열이 필요함에 따라 히트펌프의 실시간 축열량은 모자라게 되고 더불어 축열조의 온도는 하강하면서 내부 저장열을 난방에 사용함을 알 수 있다. 축열조의 온도는 최저 외기온도가 발생하는 시간에 가장 낮은 온도를 나타내고 있다. 29일 축열조 최저온도는 09시 17분에 46.6°C이었고 축열조의 온도가 설정온도에 도달한 시간은 12시 24분으



[그림 10] 축열조 에너지 평형

로 이때 축열조 온도는 50.1℃이었다. 30일은 09시 41분에 최저온도 44.8℃이었고 축열조의 온도가 설정온도에 도달한 시간은 14시 59분인데, 이때의 축열조 온도는 50.1℃이었다. 축열조에서 최저온도가 발생한 시점부터 축열이 완료되는데 걸리는 시간은 각각 3시간 7분, 5시간 18분이었다. 축열조의 시간당 온도상승률은 29일의 경우 1.12℃/hr이고 30일은 1.0℃/hr이다. 29일의 난방시작시간이 19시 19분인 것을 고려할 때 축열조의 최저온도 시점부터 난방시작시간까지는 10시간 2분의 시간이 있고 이때의 최대 가능한 축열조 온도 차이는 10℃이다. 즉, 축열조의 온도가 40℃에서 다음 난방 시까지 축열을 완료할 수 있다는 것을 나타낸다. 그림 9의 (b)에서 좌측 28일 야간 축열조 온도변화를 살펴보면 하루 2.0 m, 우측 29일은 2.8 m 지점의 온도변화가 급격히 일어남을 알 수 있다. 28일 야간난방부하는 2.0 m 지점의 열량으로 대응을 할 수 있었다. 29일은 야간 난방부하가 증가되면서 2.8 m 지점까지의 열량을 사용하여 부하에 대응한 것을 알 수 있다.

그림 10은 난방을 시작하면서 소요된 열량과 히트펌프가 축열한 열을 적산하여 나타낸 것이다. 그래프에서 좌측은 29일 04시 46분까지, 우측은 30일 03시 35분까지는 축열조에서 소비되는 에너지와 축열되는 에너지가 거의 같음을 볼 수 있



[그림 11] 히트펌프 시스템의 에너지 소비량

다. 시간이 더 지나면서 축열량에 비해서 소비되는 에너지가 커짐을 볼 수 있다. 난방이 종료되는 시점의 총 소비에너지와 그때의 축열량과의 차이도 비례함을 볼 수 있다. 이때의 적산에너지 차이는 축열조의 열저장량으로 볼 수 있다. 이처럼 실시간의 난방에너지와 축열에너지의 차이를 축열조가 감당하면서 난방이 이루어짐을 볼 수 있다.

그림 11은 히트펌프 시스템의 성능을 알아보기 위해서 실내 난방부하에 소요된 에너지와 압축기 동력 그리고 순환펌프(지열순환, 응축순환, 실내순환) 및 FCU의 소요에너지를 적산하여 나타내고 있다. 28, 29일에 걸친 난방부하는 2640MJ이고, 29, 30일의 난방부하는 3156MJ이었다. 여기서 압축에 소요된 에너지는 난방부하에 비해서 평균 37.5%이고, 순환펌프 및 FCU에 소요된 에너지는 평균 6.8%이었다. 시설원예용 수평형 지열히트펌프 시스템의 성능계수(COP_{sys})는 평균 2.4의 값을 보였다. 본 시스템의 응축압력은 평균 2.07MPa이었고 증발압력은 평균 0.42MPa으로 나타났다.

4. 경제성분석

지열원 히트펌프시스템을 사용하는 가장 중요한 이유가 에너지비용 절감이다. 히트펌프는 특성상

전기를 곧바로 열에너지를 만드는 것 보다 유리한 면을 가지고 있다. 절감비용 분석은 1월 28일 15시부터 30일 15시까지 48시간 동안 소요된 에너지를 가지고 분석하였다. 비교 단가는 다음과 같다.

- 농사용 전력(병) -
 - 기본료 : 1,070 원/ kW
 - 사용요금 : 36.4 원/ kWh
 - 부가세액 : 10%
- 석유난방기 -
 - 경유(면세유적용) : 703 원/ℓ (2006년 기준)
 - 경유 전발열량 : 9,200 kcal/ℓ (에너지관리공단, www.kemco.or.kr)
 - 경유 유효발열량 : 7,360 kcal/ℓ (효율 80%적용)
 - 난방기 송풍팬 : 1 kW x 4 ea = 4 kW
- 열량환산 -
 - 1 kWh = 3,600 kJ
 - 7,360 kcal/ℓ = 30, 816 kJ/ℓ

1월 28일 15시부터 30일 15시까지 48시간 동안 소요된 난방에너지는 5,795,875kJ이었고, 지열원 히트펌프는 2,542,923kJ이었다. 지열히트펌프의 순간 소비전력은 약 30.5kW로 하였다.



[그림 12] 온실의 내부 모습

4.1 비용 산출

(1) 경유 난방기(송풍기 동력무시)

- 경유 사용량 : $(5,795,875 \text{ kJ}) / (30,816 \text{ kJ}/\ell) = 18$
- 경유 비용 : $(18 \ell) \times (703 \text{ 원}/\ell) = 12,654 \text{ 원}$

(2) 축열조를 채용한 수평형 지열원 히트펌프 온실 난방시스템

- 사용전력 : $(2,542,923 \text{ kJ}) / (3,600 \text{ kJ}/\text{kWh}) = 706,4 \text{ kWh}$
- 사용요금 : $(706,4 \text{ kWh}) \times (36.4 \text{ 원}/\text{kWh}) = 25,713 \text{ 원}$
- 기본요금 : $(1,070 \text{ 원}/\text{kW}) \times (30.5 \text{ kW}) / (30 \text{ 일}/\text{월}) \times 2 \text{ 일}(48 \text{ 시간}) = 2,176 \text{ 원}$
- 부가세액 : $(25,713 \text{ 원} + 2,176 \text{ 원}) \times 10\% = 2,789 \text{ 원}$
- 전체요금 : $25,713 \text{ 원} + 2,176 \text{ 원} + 2,789 \text{ 원} = 30,678 \text{ 원}$

(3) 비용 절감을 산정

경유난방기 사용요금에 대한 지열원 시스템의 사용요금은 다음과 같이 산출된다.

- 절감율(%)
 - = $(\text{경유사용요금} - \text{지열원 시스템 사용요금}) / (\text{경유사용요금}) \times 100$
 - = $(12,654 \text{ 원} - 30,678 \text{ 원}) / (12,654 \text{ 원}) \times 100 = 76\%$



[그림 13] 완숙토마토 수확 모습



[그림 14] 수확한 완숙토마토

경유난방기와 에너지비용을 비교한 결과 전체 난방비용 절감율은 76%로 산출되었다. 그림 12 ~ 14는 온실내부의 완숙토마토 재배 및 수확 모습이며, 그림 15는 실증시험 온실의 1월 전기요금 청구서이다.

5. 결론

온실용 수평형 지열히트펌프 시스템 성능분석연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 온실 내부 토양면적을 이용한 수평형 지열 히트펌프 시스템을 이용하여 실내로 열을 공급을 하였을 때 실내온도를 14℃로 비교적 일정하게 유지하며 난방을 할 수 있었다. 따라서 온실에 수평형 지열히트펌프 시스템의 난방 운영은 타당함을 확인하였다.
- (2) 축열조의 시간당 온도상승률은 1.12℃/hr으로 최대 가능한 축열조 온도 차이는 10℃이다.
- (3) 주야간 채열이 가능한 온실에 지열 히트펌프 시스템을 채용하였을 때 실시간 시스템 공급량보다 많은 난방부하를 축열시스템을 사용함으로써 난방이 가능함을 확인하였다.
- (4) 히트펌프의 성능계수(COP)는 2.9이며, 시스템 전체의 성능계수(COP_{sys})는 2.4로 나

납부영수증	2007.01 월분 전기요금 자동납부 청구서	
성명	[redacted] 님	
주 소	경상북도 영천시 화산면 효정리 [redacted]	
고객번호	05 2607 5656	
청구금액	612,200 원	
납 기 일	2007년 01월 31일	
거래은행	지역농협	
계좌번호	개인정보 보호를 위해 미기재	
예 금 주	[redacted]	
3,750 원	53,750 원	
* 귀하의 예금계좌에서 2007년 01월 31일에 자동납부 되었으나 예금잔액을 확인하여 주십시오.		
* 납기 당일 은행 영업시간 내에 입금된 예금에 한하여		

[그림 15] 전기요금 청구서(2007년 1월)

타났다.

- (5) 온실용 수평형 지열 히트펌프시스템과 석유를 사용하는 온풍기를 비교했을 때 난방비 절감효과는 경유 온풍기 사용요금 대비 약 76%의 절감율을 확인하였다.

6. 향후 전망과 과제

지열시스템이 국내에 소개되고 상용화 기술로 보급된 역사는 매우 짧다. 여러분야의 많은 지열 전문가들이 다양한 과제에 대해 연구, 개발을 수행하고 있으며 또한 성과를 도출하고 있다. 농촌의 넓은 여유 공간을 활용한다면 지열원 히트펌프를 농업용 냉·난방 시스템으로 도입할 수 있을 것이다. 국제유가의 급등에 따라 시설원에 생산비 중 난방비가 차지하는 비중이 크게 증가하여 시설원예농가에 매우 큰 부담이 되고 있어 겨울철 시설원에 작물의 생산과 지구 온난화에 대응하여 시설난방에너지 비용을 줄일 수 있는 기술 개발 요구되고 관련 기술의 보급 확대에 대한 지원이 절실히 요구된다. 본 연구는 산업자원부 신재생에너지기술개발사업의 일환(2005-N-GE11-P-01-0-000-2006)으로 수행 되었다.