

그린하우스 난방을 위한 히트펌프-잠열축열 시스템 연구

A Study on the Heat pump - Latent Heat Storage System for the Greenhouse Heating.

송현갑*, 노정근**, 박종길**, 강연구**, 김현철**

정희원, 정희원, 정희원

H.K. Song, J.G. Ro, J.K. Park, Y.K. Kang, H.C. Kim

1. 서론

우리 나라 겨울철 시설 농업에 필요한 평균 난방 열량은 약 300 Kcal/ hr · pyung으로 500평의 시설 농업을 하는 경우 150,000Kcal/ hr로서 겨울철 그린하우스 재배기간을 5개월로 할 경우 500평에 소요되는 열량을 석유로 환산하면 약 200드림에 해당되며, 요즈음 석유 가격으로 환산하면 약 12,000천원이 소요된다. 뿐만 아니라, 자연에너지가 아닌 화석에너지로 농사를 하게 됨에 따라 농업의 자연친화적인 본래의 모습을 일그러지게 하고 있다.

그래서 본 연구에서는 겨울철 그린하우스 난방을 가능한 한 자연에너지에 많이 의존하고, 반면에 화석에너지 의존도를 될 수 있는 대로 줄이기 위하여 성능계수, COP가 3이상 되는 히트펌프와 열에너지 저장능력이 큰 잠열축열재를 이용한 그린하우스 난방 시스템 개발 연구를 수행하였다.

2. 재료 및 방법

1) 실험 장치

그린하우스 효과(Greenhouse effect)를 이용하여 집열된 잉여 태양에너지를 축열용량(35~40 Kcal/Kg)이 큰 PCM에 축열하여 그 에너지를 태양강도가 충분하지 못한 경우에 그린하우스 난방에 사용하고, 태양에너지의 절대량이 부족한 경우에는 히트펌프로 난방열을 공급할 수 있도록 하기 위하여 그림 1. 과 같은 그린하우스 난방 시스템과 실험장치를 구성하였으며, 그 상세한 치수는 표 1.과 같다.

그림 1.에서 보는 바와 같이 그린하우스 내·외기온과 PCM축열조 내 온도변화 그리고 토양온도를 측정하기 위하여 26개의 thermocouple을 설치하여 hybrid recorder에 기록되도록 하였으며, 1개의 온습도계를 설치하여 실내 습공기의 enthalpy를 분석할 수 있게 하였고,

* 충북대학교 농업기계공학과

** 충북대학교 대학원 농업기계공학과

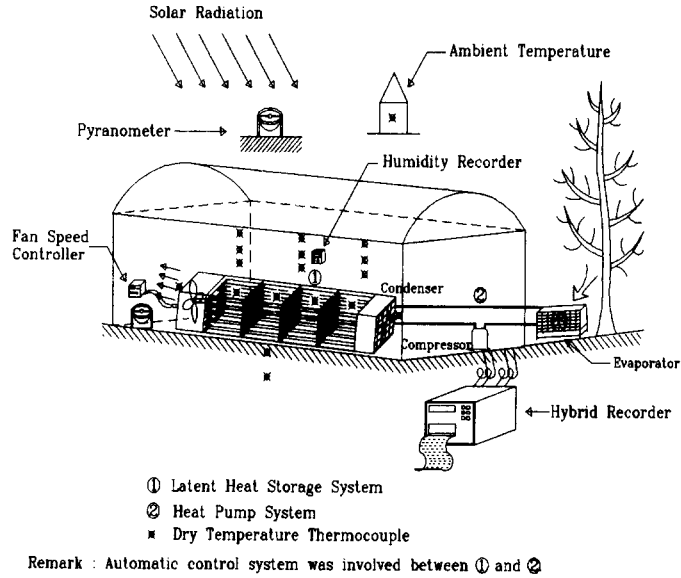


Fig.1. Greenhouse heating system and the experimental equipment

그린하우스 안과밖에 1개씩 2개의 pyranometer를 설치하여 그린하우스 내외의 태양강도를 측정하였으며 그린하우스 카버의 태양열 투과율을 분석할 수 있도록 하였고, 토양온도를 측정하여 지중 축열량을 분석할 수 있도록 하였다.

Table1. Dimensions of greenhouse heating system and the thermal properties.

Main parts	Dimension	Material	thermal properties
①Greenhouse	Width × Length × Height = 7m × 14m × 3.4m	- Vinyl film - Steel pipe	$\frac{A_{wall}}{A_g} = 0.65$ Where A_{wall} : greenhouse cover area A_g : ground area
② Heat Pump	3Ps (air to air)	R_{22}	- COP = 2 ~ 4.5 - Heated air Temperature = 35 ~ 50°C
③ PCM storage system	- PCM storage cart: Width × Depth × Height = 700mm × 700mm × 900mm - Total carts : 4EA - PCM mass : 68EA × 12Kg/bag = 816Kg	- Al + polyethylene film - Stainless - $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$	- Latent heat = 38.5Kcal/Kg - Phase change Temperature = 18 ~ 22°C

2) 실험 방법

실험장치 구성에서 보여준 바와 같이 본 연구의 그린하우스 난방 시스템은 3개의 주요 단위요소로 구성되어 있으며, 이들 3개의 단위요소는 4개의 시스템으로 조합된다.

이와 같이 구성되는 4가지 형태의 그린하우스 난방 시스템의 난방 성능특성을 실험하기 위하여 표 2.와 같이 시스템별 측정항목을 조합하여, 1997년 1월 15일에서 3월 25일까지 충청북도 청주지방에서 실험을 수행하였다.

이 실험기간 중 외기온은 -12°C 에서 15°C 이었기 때문에 주위 공기온도의 인위적 조절없이 그린하우스 난방실험을 수행할 수 있었다.

Table 2. Combination of four type of greenhouse heating systems composed of 3 main parts and the measuring item.

Greenhouse heating models Measuring item	Solar Greenhouse	Solar Greenhouse - PCM heat Storage System	Solar Greenhouse-Heat Pump system	Solar Greenhouse - PCM heat storage-Heat Pump System
① Ambient Temp.	○	○	○	○
② Air Temp. in the Greenhouse	○	○	○	○
③ Air Humidity in the Greenhouse	○	○	○	○
④ Floor Temp. in the Greenhouse	○	○	○	○
⑤ Solar Flux	○	○	○	○
⑥ Inlet and Outlet temp. of PCM heat Storage System	×	○	×	○
⑦ Inlet and Outlet Temp. of Heat Pump Condenser	×	×	○	○
⑧ Air Flow Rate of Heat Pump Condenser and the PCM Storage system	×	○	○	○
⑨ Power Consumption of Heat Pump	×	×	○	○
⑩ Data Acquisition Interval(min)	30	30	30	30

3. 결과 및 고찰

1) 그린하우스-PCM-열펌프 시스템에서의 열흐름 특성분석

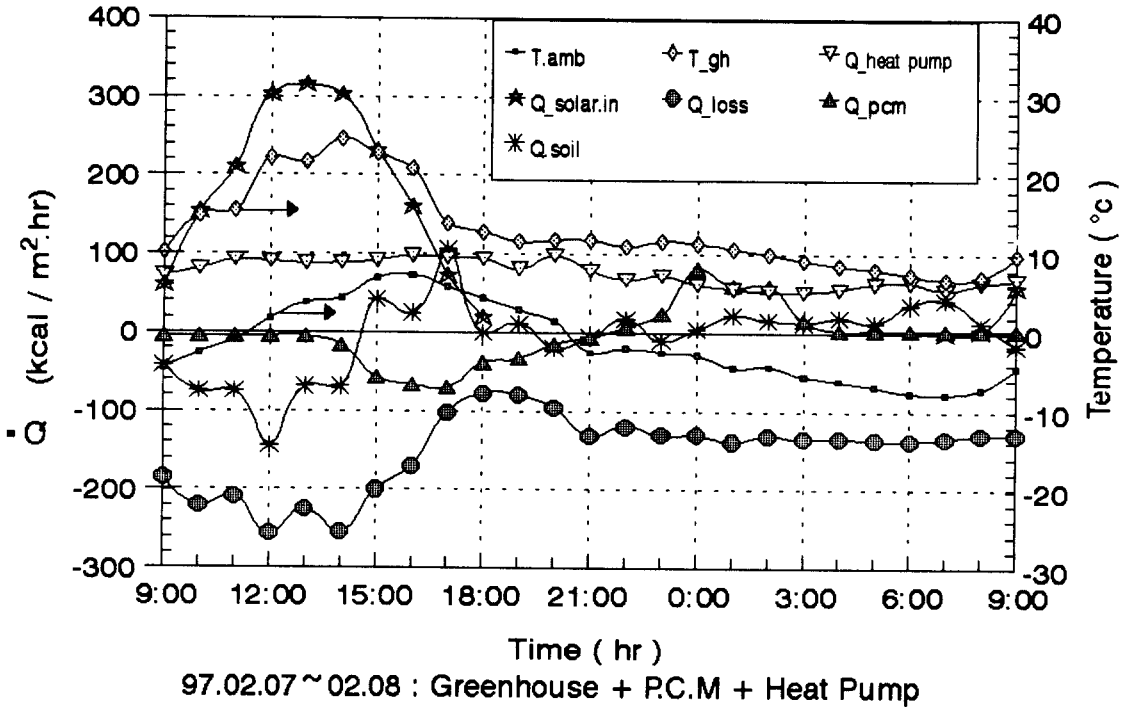


Fig.2. The thermal energy flow in the greenhouse - PCM - Heat pump system with the legal time and the variation of the inside and outside air temperature of the greenhouse.

그림 2.는 잠열 축열조와 열펌프가 설치된 그린하우스 내에 공급되고 있는 열축열매체에 저장되고 있는 열과 그린하우스로부터 손실되고 있는 열흐름을 나타내고 있으며, 외기온도 변화를 보여주고 있다. 동시에 이들 열에너지 흐름과 외기온에 의하여 결과된 그린하우스 난방온도 변화를 나타내고 있다.

50~310 Kcal/m²·hr의 태양열이 9시간 동안 그린하우스 내에 공급되었고, 60~100 Kcal/m²·hr의 열이 히트펌프에 의하여 24시간 동안 계속해서 그린하우스 내에 공급되었다.

이 공급되는 열에너지 중 주간에는 80~140 Kcal/m²·hr의 열이 토양과 PCM, 그리고 공기 중에 저장되고 있었으며, 200~240 Kcal/m²·hr가 그린하우스 밖으로 손실되고 있었다.

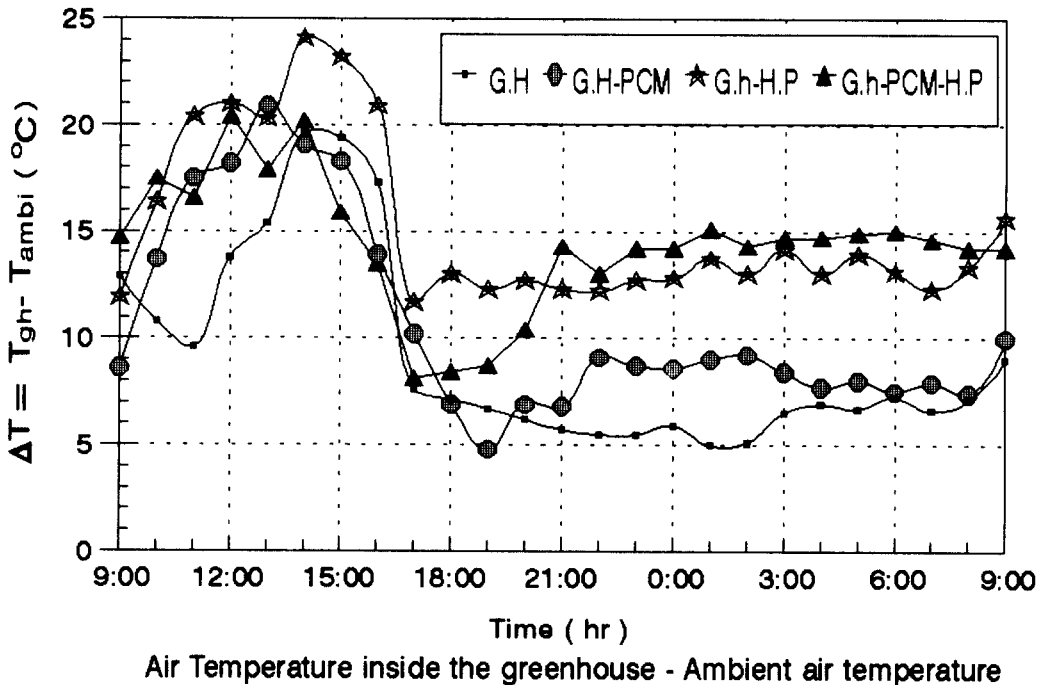
야간에는 열펌프에서 60 ~70 Kcal/m²·hr의 열에너지가 방출되어 그린하우스 난방열원으로 활용되고 있었다.

그리고 130 ~ 140 Kcal/m² · hr의 열에너지가 그린하우스 밖으로 손실되고 있음으로서 야간보다 주간 열손실이 70 ~ 100 Kcal/m² · hr 더 크게 나타났고, 이때 외기온은 주간에는 -4 ~ -8°C였으며 야간에는 0 ~ -8°C이었다. 이와 같이 그린하우스 내 열흐름에 힘입어 낮은 외기온을 이기고 그린하우스 내부 공기온도는 주간에는 14 ~ 25°C로 유지되었으며, 야간에는 7 ~ 14°C로 보온되는 결과를 얻을 수 있었다.

이상의 실험 분석 결과로 주간 그린하우스의 열손실이 야간의 열손실보다 2 ~ 3배 크게 나타남을 알 수 있었으며, 이 결과는 가능한 한 주간 잉여 에너지를 많이 축열하므로써 주간 열손실을 줄이는 것은 물론이고, 저장열을 야간에 난방열로 많이 사용할 수 있는 2중 효과를 얻을 수 있음을 시사해 주었다.

이상과 같은 에너지 분석결과 잠열축열과 히트펌프 시스템의 난방효과에 의하여 50~60%의 에너지 절감효과를 얻었음을 확인할 수 있었으며, 농업환경보전에도 에너지 수준정도로 기여한 것으로 판단되었다.

2) 외기온을 기준으로 한 그린하우스 난방효과



- * T.g_h : Greenhouse air temperature, T.a_{mbi} : Ambient air temperature
- * G.H : Only greenhouse, G.H-PCM : Greenhouse - PCM heat storage system
- G.H-H.P : Greenhouse-Heat Pump system
- G.H-PCM-H.P : Greenhouse - PCM heat storage system-Heat Pump system

Fig.3. Greenhouse heating effect on the basis of the ambient air temperature

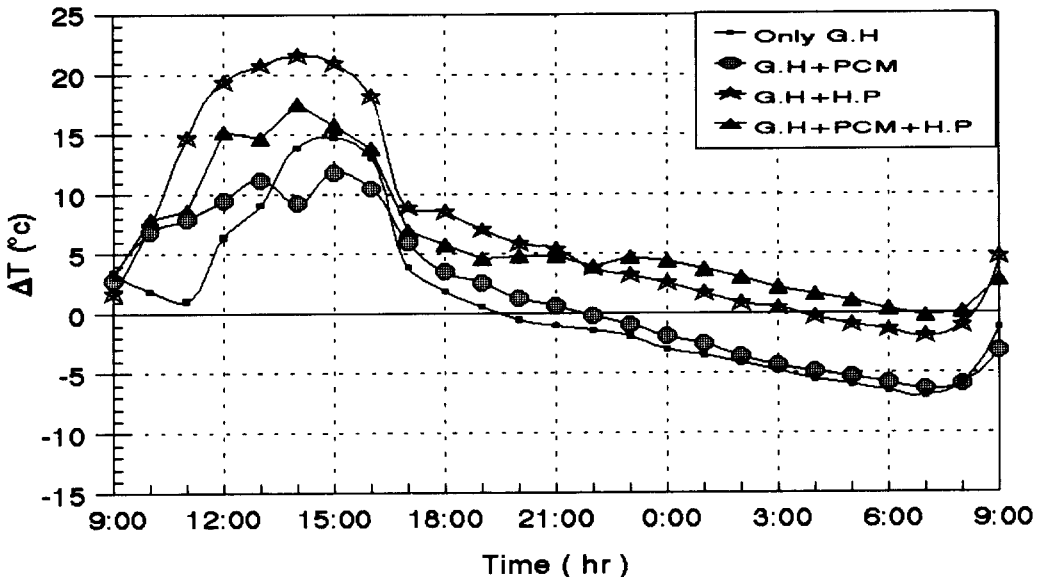
본 연구에서 그린하우스 난방시스템의 난방효과를 외기온을 기준으로 한 그린하우스의 실온과 외기온의 차로 나타내는 한편 그린하우스 설정실온을 기준으로 한 실온과 설정온도와 의 차도 그린하우스 난방효과를 분석하였다.

그림 3.에서는 외기온을 기준으로 4가지 형태로된 각 시스템의 그린하우스 난방 효과를 분석한 결과를 나타내고 있다. 이 그림에서 보는 바와 같이 주간에는 4가지 형태의 시스템 (단일 그린하우스 시스템, 그린하우스 - PCM 축열 시스템, 그린하우스- 히트펌프시스템 그리고 그린하우스 - PCM - 히트펌프시스템)모두에서 난방효과가 좋았으나, 주간에서 야간으로 넘어가는 전환기인 17시에서 21시 사이 4시간 동안에는 난방효과가 그린하우스 - 히트펌프 시스템을 제외한 3가지 조합시스템에서 5 ~ 8℃로 대단히 낮게 나타났다.

그러나 21시후 다음날 아침 9시까지의 그린하우스 - 히트펌프 시스템에서는 난방효과가 12 ~ 15℃로 비교적 높은 편이었으나, 그린하우스 난방을 저장열에서 나오는 방열에만 의존하고 있는 그린하우스 - PCM 시스템과 열원이 전혀없는 단일 그린하우스의 난방효과는 상대적으로 낮게 나타났다.

이 분석결과로 보아 가능한 한 PCM축열용량을 늘리고 히트펌프의 용량과 성능계수인 COP를 증진하여야 야간의 그린하우스 난방 효과가 상승될 것으로 판단되지만 열공급과 열 저장시스템을 잘 조합되게 하는 적정 규모결정이 대단히 중요한 것으로 판단되었다.

3) 그린하우스 설정실온을 기준으로 한 그린하우스 난방효과



G.H, Heating Effect on the basis of greenhouse setting temperature of 7 °C
 (ΔT = Air temperature inside the greenhouse - Setting temperature of 7°C)

Fig.4. Greenhouse heating effect on the basis of the greenhouse setting air temperature

그림4는 그린하우스 설정온도, 7℃를 기준으로 4가지 형태의 그린하우스 난방시스템에 대한 난방효과를 분석한 결과이며, 이 난방효과는 그린하우스 내 공기온도와 설정온도와의 차로 나타내었다.

이 그림에서 보는 바와 같이 주간에는 4개의 시스템 모두에서 난방효과가 2 ~ 21℃로 높게 나타났으나, 주간에서 야간으로 넘어가는 전환기에는 급격히 난방효과가 하강하는 현상을 보였다.

오전 10시부터 저녁 21시까지는 그린하우스 - PCM - 열펌프로 구성된 난방시스템이 그린하우스 - 열펌프로 구성된 난방시스템보다 난방효과가 낮았으나, 21시 이후부터는 그린하우스 - PCM - 열펌프로 구성된 시스템이 그린하우스 - 열펌프 시스템보다 그린하우스 난방효과가 높게 나타났다.

주간에는 태양에너지와 열펌프에서 공급되는 열에너지가 PCM열저장조에 축열되기 때문에 낮게 나타났고 주간에서 야간으로 전환되는 시간인 18시에서 21시까지는 아직 PCM에 축열된 열이 방열되지 않은 상태이기 때문에 그린하우스 - PCM - 열펌프 시스템의 난방효과가 그린하우스 - 히트펌프 시스템의 경우보다 낮게 나타난 것으로 판단되었다.

이 그림에서 보는 바와 같이 단일 그린하우스 시스템과 그린하우스 - PCM 축열시스템 간의 난방효과차이가 비교적 적게 나타난 것으로 보아 이 경우 PCM축열조가 난방효과에 준 영향은 적었으나, 그린하우스 - 히트펌프 시스템과 그린하우스 - PCM - 히트펌프 시스템 간의 난방효과 차이가 비교적 크게 나타난 것은 열원이 풍부한 경우에만 PCM축열조가 난방효과에 큰 영향을 준다는 사실을 분명히 나타낸 것이라 하겠다.

이와 같은 결과로 보아 열원규모와 PCM축열조 규모간의 관계를 수식화하고 이에 준하여 PCM축열조 규모를 적절히 결정하여야 할 것으로 판단되었다.

앞으로 연구에서는 열원규모와 축열조 규모간의 관계에 관한 이론 및 실험적 분석이 심도 있게 이루어져야 할 것으로 판단되었다.

4. 요약 및 결론

겨울철 그린하우스 난방의 화석에너지 의존도를 줄이고, 그 대신 자연에너지 이용률을 높이기 위하여 그린하우스, PCM축열조, 그리고 히트펌프를 자연에너지 이용을 위한 그린하우스 난방의 주요 단위 요소로 하고, 이들 3요소를 조합하여 4단계(단일 그린하우스, 그린하우스-PCM시스템, 그린하우스-히트펌프 시스템, 그린하우스-PCM-히트펌프 시스템)난방 시스템을 구성하여 단계별로 실험 분석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 4단계 난방 시스템 모두에서 주간 열손실이 야간의 열손실보다 2~3배 더 큰 것으로 분석되었으며,
- 2) 그린하우스 설정온도, 7℃를 기준으로 한 난방 효과는 주간에는 5~21℃, 야간에는 -7

- ~8℃로서 그린하우스-PCM-히트펌프 시스템만이 설정온도 이상의 난방 효과를 보였고,
- 3) PCM축열조 규모와 공급 열원 규모가 적정한 그린하우스-PCM-히트펌프 시스템에서 PCM축열조의 난방 효과가 가장 높게 나타났다.
 - 4) PCM축열조와 히트펌프시스템의 난방효과에 의하여 50 ~ 60%의 에너지 절감효과와 이에 상응한 농업환경보존효과를 얻을 수 있었다.

5. 참고문헌

1. 송현갑, 유영선. 1994. 온실난방을 위한 태양열-지하잠열축열 시스템 개발. 한국농업기계학회지 19(3).
2. 송현갑, 유영선. 1996. 그린하우스 열환경조절을 위한 파라핀계 화합물의 잠열축열특성. 한국농업기계학회지 21(1).
3. Kaygusuz K., T. Ayhan. 1991. Solar-Assisted Heat Pump Systems and Energy Storage. Solar Energy 47(5) : 383~391.
4. Huang B. K., M. Toksoy. 1986. Transient Response of Latent Heat Storage in Greenhouse Solar System. Solar Energy 37(4) : 270~292.
5. Sushid K., James Y. 1984. Thermal Performance of A Direct Expansion Solar Assisted Heat Pump. Solar Energy 33(2) : 155~162.
6. 吉岡勉 등. 1996. 地中蓄熱型 ソーラ-温室に 關ある 研究 (續報) 日本太陽 エネルギ“- 22(6) : 58~66.