

히트펌프를 이용한 양액베드 냉난방시스템의 냉방성능 분석

Cooling performance analysis of heating and cooling system of nutrient solution bed with heat pump

강금춘*	유영선*	김영중*	백 이*
정회원	정회원	정회원	정회원
G. C. Kang	Y. S. Ryou	Y. J. Kim	Y. Paek

1. 서론

1992년 이후 우리 나라 원예시설 면적은 매년 크게 증가하여 2000년말 현재 48,853ha에 이르고 있으며(농림부, 2001), 그중 양액재배 면적은 '92년에는 13.2ha에 불과하였으나 연평균 64%씩 증가하여 2000년에는 700ha에 이르렀다. 이들 양액재배 면적 중 채소류가 70%, 화훼류가 30%를 차지하고 있으며, 작물별로는 토마토가 37%로써 가장 많은 면적이 재배되고 있고, 그 다음으로 장미가 25%를 차지하고 있다. 또한 사용하는 배지별 양액재배 비율은 펄라이트 배지가 319ha로 전체면적의 46%를 차지하고 있으며, 암면배지가 26%, 혼합배지가 17%를 차지하고 있다(농촌진흥청, 2001).

시설재배에 있어서 온도관리는 작물의 생육과 수량을 좌우하기 때문에 가장 중요한 환경요인 중 하나이며, 기온관리 뿐만 아니라 지온관리도 작물 뿌리의 신장, 뿌리군의 형성에 직접적인 영향을 미치며 양수분의 흡수에 관여하고 토양미생물의 활동에도 영향을 미치기 때문에 작물 재배관리상 매우 중요하다(남, 2000).

작물 뿌리부 가온에 따른 과채류의 증수효과는 무가온에 비하여 오이 41%, 피망 90%, 토마토 5%로 나타났으며, 오이의 경우 수량은 3~6월이 가장 많고 그 다음이 9~11월로서 여름과 겨울이 적는데 특히 7~8월에 가장 적다고 하였다. 이는 오이가 내서성이 약하여 기온 30℃ 이상에서는 꽃가루 형성불량, 단위결과율 저하, 착과장해를 보여 수량이 현저히 저하되기 때문이라고 한다(이, 1994).

양액재배시 근권부를 냉각처리 함으로써 여름철에 오이의 수량을 은성백다다기의 경우 26%, 경성여름은 45% 증가시킬 수 있었으며 이때 근권부의 온도를 20℃ 내외로 유지시켜 주는 것이 좋다고 하였다(문 등, 2000).

따라서 본 연구에서는 자연에너지를 이용하여 저렴한 가격으로 작물 뿌리부의 냉난방을 동시에 할 수 있는 히트펌프식 양액베드 냉난방시스템을 개발하고자 하였으며, 냉방성능을 분석한 결과는 다음과 같다.

* 농촌진흥청 농업기계화연구소

2. 재료 및 방법

가. 히트펌프를 이용한 양액베드 냉난방시스템 설계제작

그림 1은 공기-물방식의 히트펌프를 이용한 양액베드 냉난방시스템으로써 압축기, 증발기, 응축기, 팽창밸브, 사방밸브, 물탱크 및 펌프 등으로 구성되어 있다.

증발기는 셸-튜브형으로 $\text{Ø}12.7\text{mm}$ 의 구리 파이프를 병렬 연결하여 공기와 강제 열교환이 이루어지도록 하였으며, 응축기는 이중 관형으로 $\text{Ø}40\text{mm}$ 의 스테인레스 파이프 내부에 $\text{Ø}12.7\text{mm}$ 의 구리 파이프가 삽입된 형태로 내부 파이프로 냉매가 흐를 때 외부파이프에는 물이 흘러 물이 열을 흡수하거나 방열하는 구조로 제작하였다.

사방밸브를 사용하여 냉·난방으로 전환하여 사용할 수 있도록 하였으며, 압축기는 냉난방 부하를 고려하여 용량 3.75kW의 것을 사용하였고 응축기에 설치된 물펌프 및 증발기에 설치된 팬의 정격소비전력은 각각 0.3kW, 0.7kW 이었다. 표 1은 히트펌프의 형식과 제원을 나타낸 것이다.

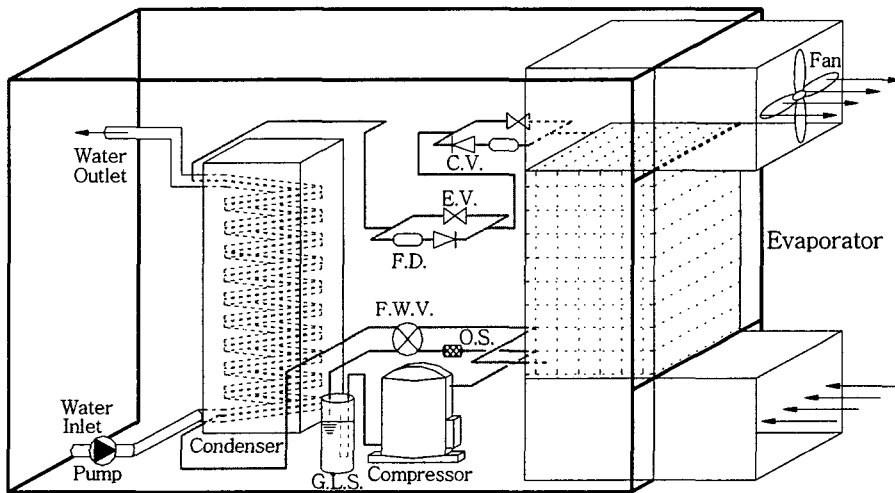


Fig 1. Heating and cooling system of nutrient solution bed with heat pump.

Table 1 Specifications of each component in the heat pump

component		type and dimension
type		air-water heating and cooling system
dimension(L×W×H)		1,500×650×1,200mm
refrigerant medium		R ₂₂
compressor		3.75kW
evaporator	type	shell-tube
	surface area of tube	3.05m ²
	air flow rate of fan	60m ³ /min
condenser	type	double tube
	surface area of tube	0.6m ²
	water flow rate of pump	25 l /min

나. 히트펌프 냉방 성능시험

양액베드 냉난방시스템용 히트펌프의 냉방성능을 측정하기 위하여 그림 2에 나타난 바와 같이 물탱크와 응축기의 입·출구부 및 증발기 입·출구부에 각각 온도센서(T-type thermocouple)를 설치하였으며, 온도기록계(Hybrid recorder DR-230, YOKOGAWA, Japan)를 이용 1분 간격으로 연속 측정하여 열회수량을 산출하였다. 응축기 내부로 흐르는 물의 유량은 초음파유량계(Flow meter PT868, PANAMETRIX, USA)를 이용하였고, 소비전력은 전력량계(Clamp on power hitester 3166, HIOKI, Japan)를 이용하여 측정하였다.

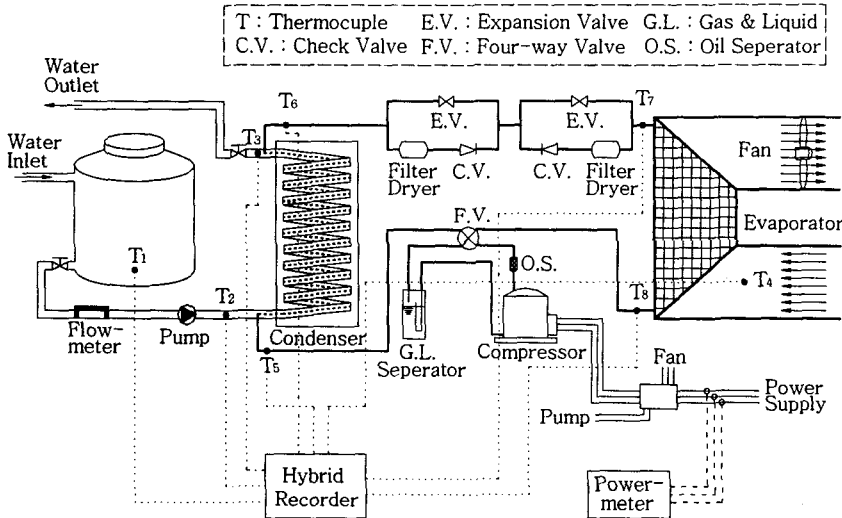


Fig 2. Temperature and water flow rate check points in the test set-up.

응축기 내부를 흐르는 물의 순환량은 유량조절 밸브에 의해 10~25 l/min의 범위에서 4수준으로 설정하였으며, 여름철 온실 내에서의 사용온도 조건을 고려하여 공기온도는 20~35℃ 범위의 4수준으로 하여 수행하였다.

열회수량은 응축기 입출구에서의 물의 온도차와 순환량을 가지고 식 (1)과 같이 계산할 수 있으며, 히트펌프의 냉방 성능계수(COP)는 응축기에서 토출되는 물이 잃은 열량과 압축기에서 소비한 전력의 비로서 식 (2)로 표시할 수 있다(靑木, 1993).

$$Q_w = \dot{m}_w \times c_{pw} \times \Delta T_w \quad \text{-----(1)}$$

$$COP = \frac{Q_w}{L \times 860} \quad \text{-----(2)}$$

여기서 COP: coefficient of performance, Q_w : heat gain from the water condenser(kJ/h), L: power consumption(kW), \dot{m}_w : water mass flow rate(kg/h), c_{pw} : specific heat of water(kJ/kg · °C), ΔT_w : temperature gained and loss by water in the condenser(°C)

다. 양액베드 냉방 성능시험

본 연구에서 개발한 시스템의 양액베드 냉방성능을 평가하기 위하여 2001년 8월 31일 충남 부여 소재의 상면적 323m²인 유리온실에서 냉방시험을 수행하였다.

공시온실은 철골조 양지붕형 유리온실로서 내부에 501,600kJ/h 용량의 온풍기와 50,106kJ/h 용량의 양액베드 난방용 온수보일러 및 양액 자동공급장치가 설치되어 있었으며, 펄라이트 배지를 이용하여 매론을 재배하였다.

온실내부에 히트펌프를 설치하고 토출수 배관을 펄라이트 배지의 하부에 매설된 배관과 연결하였으며, 히트펌프의 온도감지용 센서를 베드 깊이 2/3 지점에 꽂아 설정온도와의 온도차에 의하여 히트펌프가 ON, OFF 되도록 하였다. 히트펌프가 가동될 때 토출되는 냉수는 펌프에 의해 펄라이트 배지 하단의 배관 내부를 순환하여 양액베드가 냉방되도록 하였다.

양액베드 냉방시험을 위하여 온실 외기온에 따른 실내기온, 베드온도, 히트펌프 응축기 입·출구에서의 물온도 경시변화 및 소비전력 등을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 히트펌프 냉방성능

응축기를 흐르는 열전달매체인 물의 순환유량이 10~25 l/min로 증가할 때 외기온에 따라 히트펌프의 압축기에 소요된 전력량과 응축기에서 토출되는 열량의 관계를 그림 3에 나타내었다.

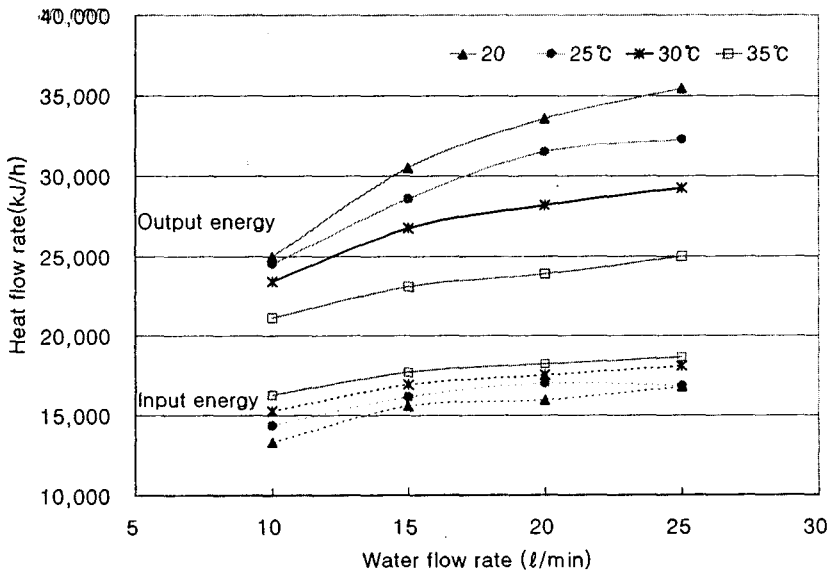


Fig 3. Rate of heat flow with the water flow rate.

유량이 10~25 l/min로 변화할 때 압축기에 투입되는 전기 에너지는 13,326~18,651kJ/h로서 유량이 크고 외기온이 높을수록 에너지가 많이 소요되는 반면, 응축기에서 토출되는 에너지는 21,117~35,467kJ/h로서 유량이 클수록 토출되는 에너지는 증가하나 외기온이 높아지면 토출 에너지는 감소하는 것으로 나타났다. 이때의 냉방 COP는 그림 4에서 보는바와 같이 1.3~2.1 수준으로 나타나 외기온이 낮을수록 높은 것으로 나타났으며, 같은 외기온에서는 대부분 유량이 많을수록 COP가 약간 증가되고 외기온이 낮을수록 유량증가에 대한 COP 증가가 큰 것으로 나타났다.

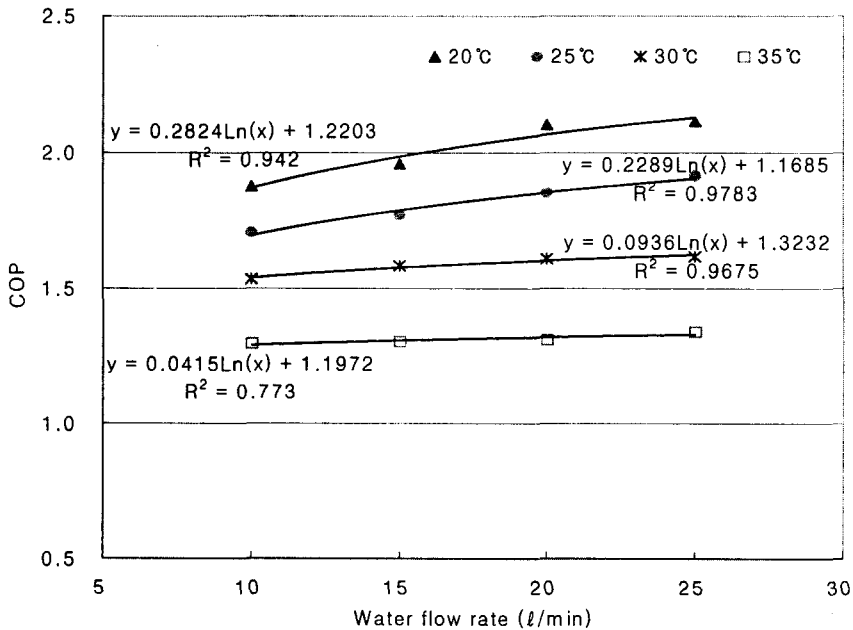


Fig 4. Effect of ambient temperature on the COP with the water flow rate.

나. 양액베드 냉방성능

여름철 펠라이트 배지를 사용하는 양액베드의 온도를 20°C로 설정하였을 때 외기온 변화에 대한 온실내 공기온도, 히트펌프로부터 배출되는 냉각수 온도 및 베드온도의 경시변화를 그림 5에 나타내었다.

외기온이 23~30°C로 변할 때 온실내 공기온도는 18~38°C로서 온실내부의 공기온도가 외기온에 비하여 주간에는 높고 야간에는 낮게 나타났으며, 양액베드는 히트펌프 가동시 생성된 10~20°C의 냉수 순환으로 설정치 온도인 20°C에 근사하게 유지되었다.

히트펌프는 주간에 가동 지연시간이 길고, ON OFF 되는 반복시간은 짧게 나타났으며, 야간에는 이와 반대로 가동 지연시간이 짧고 반복시간은 길게 나타났는데 이는 주간의 냉방 부하가 야간에 비하여 상대적으로 크기 때문인 것으로 판단되었다.

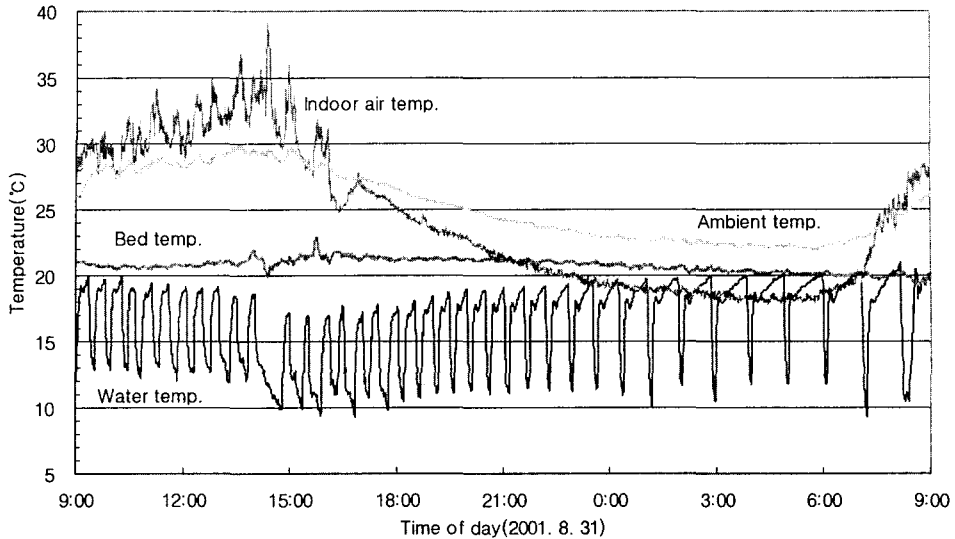


Fig 5. Temperature variation in the different positions during one day operation of the heat pump(2001. 8. 31)

4. 요약 및 결론

펄라이트를 양액배지로 이용하는 양액재배에서 작물의 근권부 온도를 주년 적정온도로 유지시켜 주기 위하여 공기-물방식의 히트펌프를 이용한 양액베드의 냉난방시스템을 구성하고 냉방성능을 시험한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 양액베드의 냉난방을 위하여 5ps 용량의 공기-물방식 히트펌프를 설계 제작하였다.
- 2) 냉방시 응축기를 흐르는 유량이 10~25 l/min로 증가함에 따라 압축기에 투입된 전기 에너지는 13,326~18,651kJ/h 이었고 응축기에서 방출되는 방열량은 21,117~35,467kJ/h로서 이때 히트펌프의 냉방성능계수(COP)는 1.3~2.1로 나타났다.
- 3) 여름철 양액베드 냉방시험 결과, 베드는 설정온도인 20°C로 잘 유지되었으며 전력량은 15시에 최대 4.5kWh가 소모되어 1일 총 43.3kWh가 소요되었다.

5. 참고문헌

1. 농림부. 2001. 2000년 채소재배 및 생산실적.
2. 농촌진흥청. 2001. 2000 인공배지 양액재배 현황.
3. 남윤일. 2000. 양액재배 자동시스템과 재배시설. 한국농업전문학교 2000년 농촌진흥공무원 전문교육교재(양액재배).
4. 문지혜, 이상규, 고관달. 1999. 하계 오이재배시 근권 냉각처리가 수량 및 품질에 미치는 영향. 원예연구소 농사시험사업연구보고서
5. 서정운 역. 1990. 열전달. 희중당
6. 이재욱. 1994. 온수지중가온이 동계 시설오이의 근권환경, 생육 및 수량에 미치는 영향. 경북대학교 박사학위논문.
7. 青木伸雄. 1993. 農業用ヒートポンプシステム技術. 社団法人 農業電化協會.