

유량 및 온도제어에 의한 히트펌프 온수시스템의 성능 평가

Performance of a Heat Pump Water Heater with the Variation of Water Flow Rate and Temperature

유영선* 김영중* 강금춘* 백 이* 윤진하*

농업기계화연구소 농업에너지연구실

Y. S. Ryou* Y. J. Kim* G. C. Kang* Y. Paek* J. H. Yun*

Agricultural Energy Lab., National Agri. Mech. Research Institute, Suwon, 441-100

서 론

우리 나라의 시설농업은 겨울철 난방에 소요되는 에너지원의 대부분을 수입에 의존하는 화석에너지를 이용하고 있다. 따라서 생산비중 난방비의 비중이 국제원유가의 상승에 비례하여 증가하므로 농산물의 가격이 불안정하며, 결국에는 재배농민의 생산욕구를 저하시켜 농가소득의 감소를 초래하고 있는 실정이다.

농산물의 개방화 시대를 맞이하여 우리 나라 시설농업이 농가의 안정된 소득수단으로 자리잡기 위해서는 저비용, 고품질의 생산구조를 갖추어야 하며, 구조개선 첫 단계로는 생산비의 30% 이상을 차지하고 있는 난방시스템의 에너지원을 고효율의 안정적인 에너지원으로 대체해야 한다.

우리 나라는 현재 산업 전 분야에 걸쳐서 에너지 소비구조의 개선이 필요한 실정이며, 국제적으로는 대체에너지의 이용기술과 폐열의 재활용 기술 개발이 활발히 이루어지고 있다. 대체에너지와 폐열의 효율적인 이용 기술 개발에 있어서 현재 실용화에 가장 접근하고 있는 히트펌프 이용기술은 시설농업에 적용이 가능한 경제성이 우수한 연구 분야이나 현재 국내의 연구기반은 매우 취약한 실정이다.

본 연구는 대기중의 열을 이용하여 온수를 생산할 수 있는 히트펌프 온수기를 시설농업에 적용할 목적으로 수행하였으며, 본 논문에서는 열매체의 유량 및 온도의 변화에 따른 히트펌프 온수기의 성능을 분석하여 고찰하였다.

재료 및 방법

본 연구에서 개발한 히트펌프 온수기는 증발기측의 열원으로 공기를 이용하였으며, 물탱크와 응축기 사이에 재순환 회로를 도입하여 온수의 온도와 유량을 이용목적에 적합하게 조절할 수 있도록 하였다. 또한 그림 1에서 보는 바와 같이 응축기의 구조를 2원화 하여 예열응축기와 고온응축기로 분리하므로써 물탱크내에 항상 일정한 양의 예열된 온수를 저장하여 순간 온수기능을 구비하도록 하였으며, 성능시험을 위하여 온도

센서, 압력센서, 유량계 등을 부착하였다.

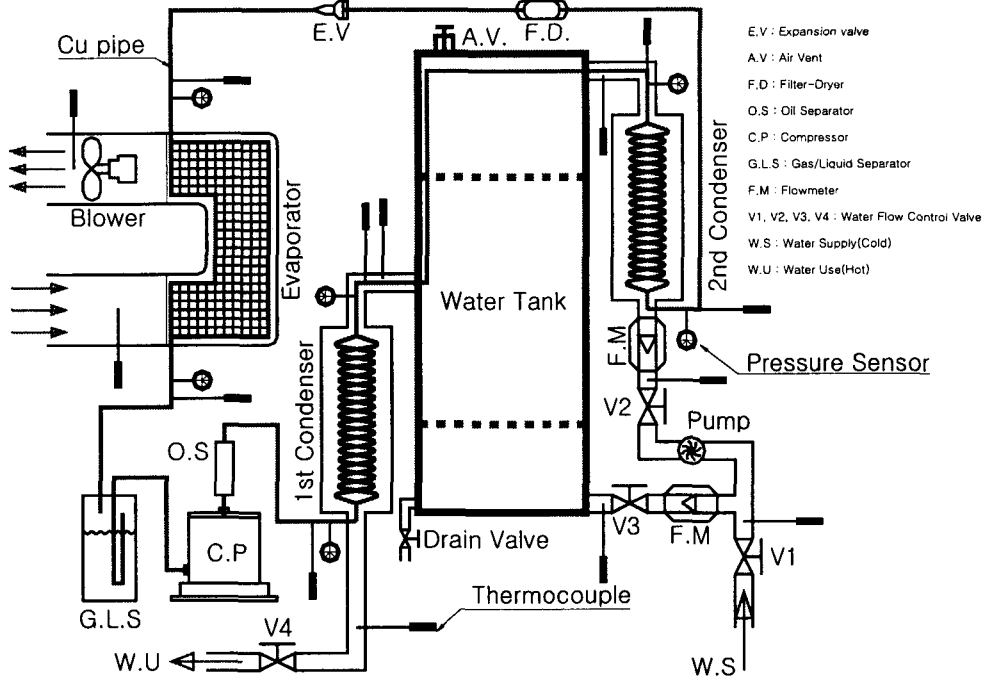


Fig. 1 COP tester of heat pump water heater with dual condenser.

결과 및 고찰

가. 재순환 밸브의 개폐도에 따른 토출수 유량 및 온도 변화

본 연구에서 개발한 히트펌프 온수시스템은 시스템의 성능향상과 순간온수기능을 부여하기 위하여 2차응축기에서 예열한 후 물탱크내에 저장된 온수의 일부를 재순환 시킬 수 있는 구조로 설계되었으며, 개방계에서 실험한 결과 그림 2에서 보는 바와 같이 재순환 밸브의 개폐율이 0~100%까지 증가함에 따라 토출되는 물의 온도는 30℃에서 45℃까지 곡선적으로 증가하는 경향을 보였다. 이때 토출되는 온수의 양은 밸브의 개폐율이 증가함에 따라 1차함수의 형태로 감소하였으며, 개폐율 0%일 때에는 2,400 l/h였고 100%일 때는 700 l/h였다.

이와 같이 재순환 밸브의 개폐율을 조정하여 토출되는 온수의 양과 온도를 이용목적에 적합한 수준으로 간편하게 변화시킴으로서 기존의 온수시스템에서 단점으로 지적되고 있는 가열된 온수에 냉수를 혼합하여 이용목적에 적합한 온도로 조절하는 방식을 탈피할 수 있게 되었다.

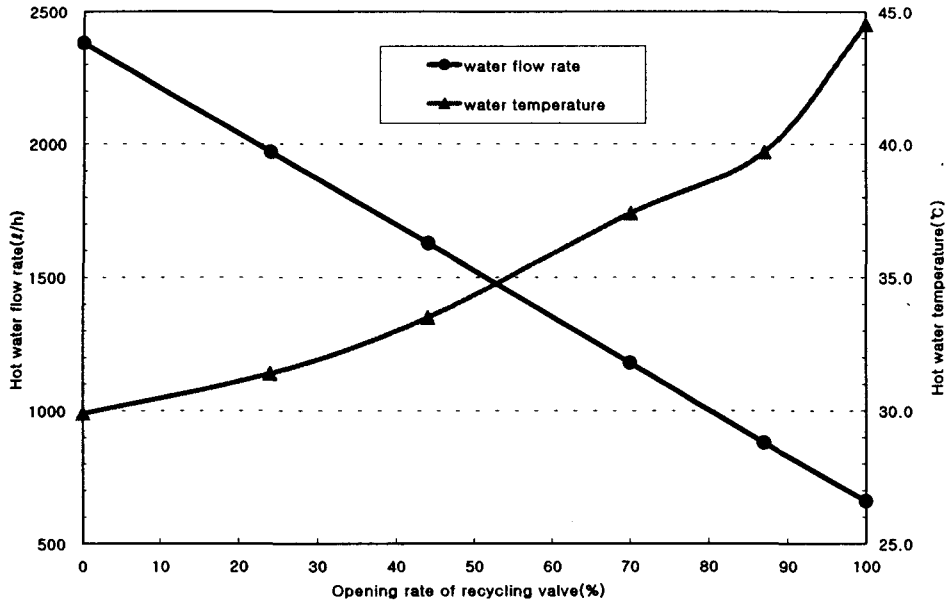


Fig. 2 Variation of water temperature and flow rate by opening rate of recycling valve in open loop.

나. 유량별 투입에너지 및 성능계수

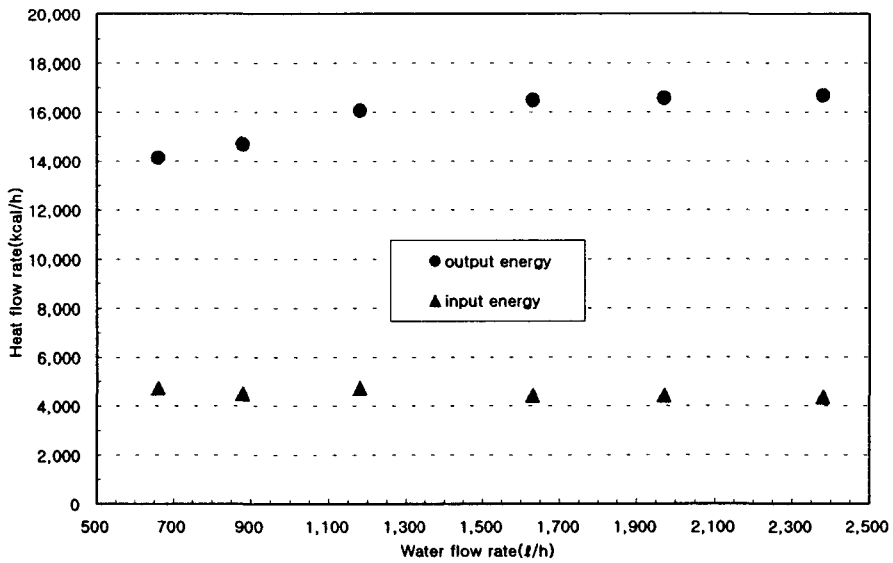


Fig. 3 Variation of input and output energy by water flow rate in open loop.

그림 3, 4에서 보는 바와 같이 물의 유량을 변화시켜 가며 히트펌프 온수시스템의 성능시험을 수행한 결과 유량변화에 따른 전기소모량의 변화는 거의 없는 것으로 나타났으나, 응축기로부터의 토출열량은 유량이 600 l/h인 경우에는 14,000kcal/h였으며, 유량이 1,500 l/h까지 증가하는 경우에는 토출열량이 16,000kcal/h까지 증가하였으나 그 이후에는 유량이 증가하여도 토출열량은 거의 일정한 경향을 나타내었다.

이와 같은 연구결과로 보아 개방계에서 히트펌프의 최대토출열량은 16,000kcal/h였으며, 최적유량은 1,200~1,500 l/h인 것으로 판단된다.

유량의 변화에 따른 히트펌프 온수시스템의 성능계수는 그림 4에서 보는 바와 같이 3.0~3.8로 나타났으며, 물의 유량이 증가함에 따라 로그함수의 형태로 약간 증가하는 경향을 보였다.

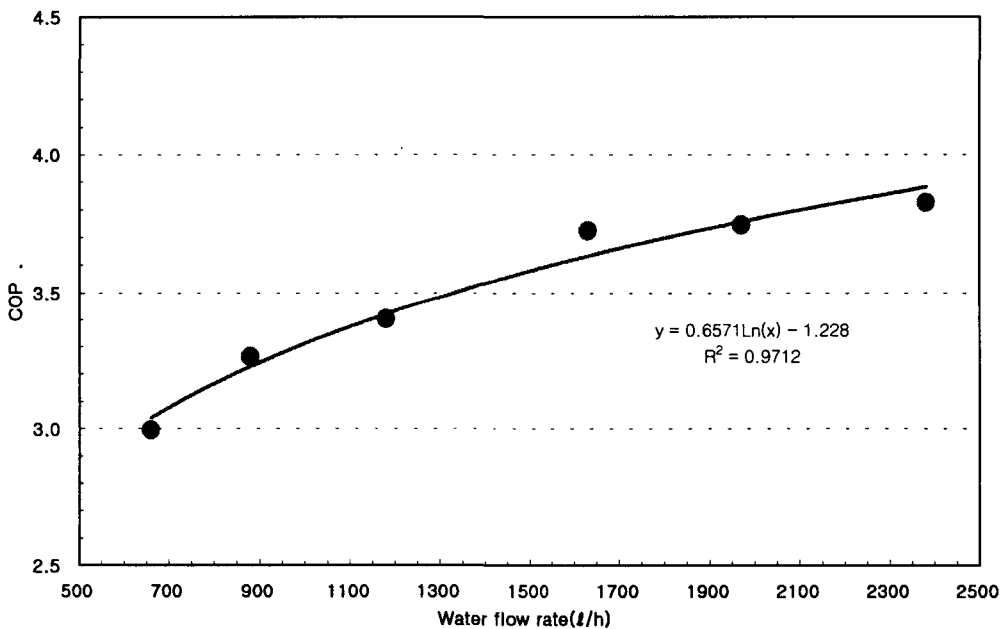


Fig. 4 COP variation of heat pump water heater in open loop.

다. 온수저장탱크의 온도성층화

일반적으로 온수저장탱크의 내부에서는 상하온도차에 의하여 자연대류현상이 발생하며, 이와 같은 대류로 인한 열에너지의 손실은 약 5~10%로 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 온수탱크의 대류를 억제하기 위하여 탱크의 바닥면을 기준으로 1/5지점과 4/5지점에 격자망을 설치하였으며, 또한 응축기에서 가열된 온수는 탱크의 상부로 유입시키고 재순환 되는 온수는 탱크의 하부에서 유출시켜 응축기로 순환하도록 하였다.

이와 같이 온도성층화를 고려하여 설계한 온수탱크의 온도분포를 측정된 결과 그림 5에서 보는 바와 같이 탱크상부와 하부의 온도 편차가 뚜렷하게 나타났으며, 히트펌프 온수기를 50분 가동한 후에는 상층부의 온도가 50℃ 이상을 유지하였으며, 2/5지점이

온도는 37°C였고, 1/5지점의 온도는 초기온도와 같은 30°C로 일정하게 유지하였다. 이와 같은 결과로 보아 온수탱크내부에서 자연대류에 의한 열에너지의 손실은 거의 없는 것으로 판단된다.

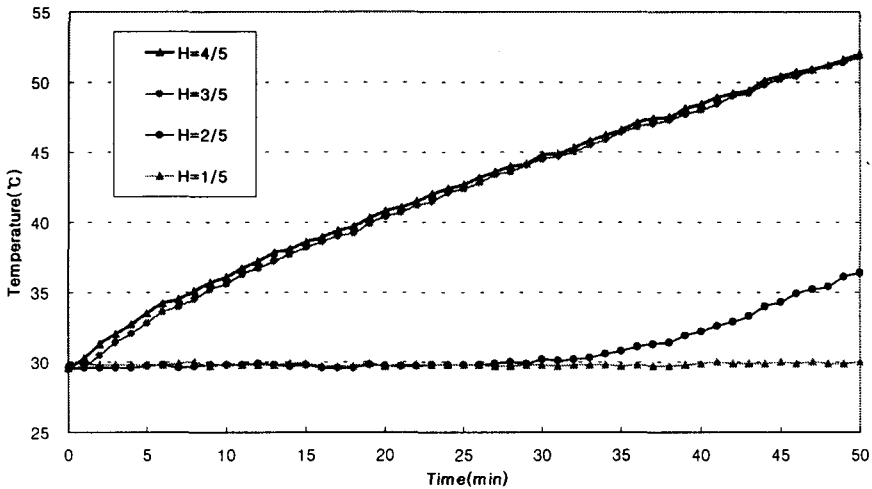


Fig. 5 Temperature stratification of water tank in closed loop.

라. 유량 및 온도에 따른 토출열량

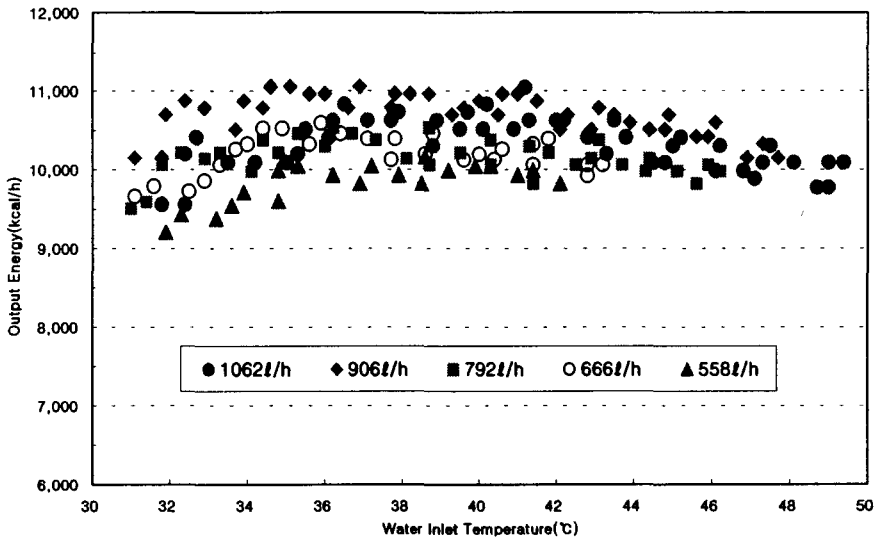


Fig. 6 Output energy of heat pump water heater with the variation of water flow rate and temperature in closed loop.

히트펌프온수기는 열매체의 유량이 크고 유입온도 낮은 경우에 온수로 토출되는 열량이 크게 나타나며, 이와 반대로 유량이 작고 유입온도가 높으면 토출열량이 작아지게

된다. 밀폐계에서 유량과 유입온도의 변화에 따른 히트펌프온수기의 토출열량을 측정 한 결과 그림 6에서 보는 바와 같이 유량이 커질수록 토출열량은 증가하는 경향을 보 였으며, 906 ℓ/h에서 11,000kcal/h로서 토출열량이 가장 크게 나타났다. 또한 유입수 의 온도가 30~50℃로 변화하는 경우 유입수의 온도변화에 따른 토출열량의 변화는 거 의 없는 것으로 나타났으며, 이와 같은 결과는 응축기의 구조를 2원화 하므로써 예열응 축기에서 냉매의 충분한 응축이 이루어졌기 때문인 것으로 판단된다.

요약 및 결론

현재 시설농업에 이용되고 있는 화석에너지를 이용하는 온수시스템을 대체할 수 있 는 하나의 수단으로 히트펌프 온수기는 에너지 효율과 경제성에 있어서 충분한 가능성 이 있는 시스템으로 고려되고 있으며, 본 연구에서는 2중구조의 응축장치와 온수재순환 밸브 그리고 성층화 구조의 온수탱크를 특징으로 하는 히트펌프 온수기의 성능을 실험 적으로 평가하였으며, 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 가. 개방계에서 온수 재순환 밸브의 개폐율을 0~100%까지 변화시키는 경우 토출수 의 유량은 2380에서 660 ℓ/h까지 직선적으로 감소하였으며, 토출수의 온도는 29.9에서 44.5℃까지 곡선적으로 증가하였다.
- 나. 개방계에서 토출수의 유량을 660에서 2380 ℓ/h까지 증가시키는 경우 히트펌프 온 수 시스템의 성능계수는 3.0에서 3.8까지 로그함수의 형태로 증가함을 알 수 있 었다.
- 다. 온도성층화를 고려하여 설계한 온수탱크의 온도분포를 측정한 결과 히트펌프온수 기를 50분 가동한 후 온수탱크 상층부의 온도는 50℃ 이상을 유지하였으며, 2/5 지점이 온도는 37℃였고, 1/5지점의 온도는 초기온도와 같은 30℃로 일정하게 유 지하므로써 온수탱크내부에서 자연대류에 의한 열에너지의 손실은 거의 없는 것 으로 나타났다.
- 라. 밀폐계에서 열매체의 유량과 유입온도의 변화에 따른 히트펌프온수기의 토출열량 을 측정한 결과 유량 906 ℓ/h에서 토출열량이 가장 크게 나타났으며, 유입수의 온도가 30~50℃로 변화하는 경우 유입수의 온도변화에 따른 토출열량의 변화는 거의 없는 것으로 나타났다.

인용문헌

1. Gregory S. Bennett. 1999. Heat Pump Apparatus for Heating Liquid. United States Patent Number 5,984,198.
2. John T. Dieckmann. 1999. Heat Pump Water Heater and Storage Tank

- Assembly. United States Patent Number 5,946,927.
3. Edwin L. Gannaway. 1996. Heat Pump Hot Water Heater. United States Patent Number 5,573,192.
 4. Glen P. Robinson. 1996. Fast Recovery Circuit for Heat Pump Water Heater. United States Patent Number 5,495,551.
 5. 유명선, 김영중, 강금춘, 백이, 윤진하, 이건중. 2001. 예열응축기를 이용한 히트펌프 온수시스템의 성능 향상 효과. 한국농업기계학회 학술대회 논문집 6(1) : 117-123.