

섬유벨트 열재생 시스템을 부착한 공기 열원 열펌프의 난방 성능 특성

Performance of Air Source Heat Pump with a Fiber Belt Heat Regeneration System

유 영 선	장 진 택	김 영 중	강 금 춘	윤 진 하	이 건 중
정 회원	정 회원	정 회원	정 회원	정 회원	정 회원
Y. S. Ryou	J. T. Chang	Y. J. Kim	K. C. Kang	J. H. Yun	K. J. Lee

SUMMARY

The heat pump is one of heating and cooling systems driven by electricity using natural energy as a heat source. The heat pump system was mainly adopted to a cooling system or a refrigeration system. In regions with a large amount of electricity, it is used as a heating system or a heating and cooling system of houses, buildings and agricultural facilities.

During cold weather, air source heat pumps do not work well because of some technical problems, such as frosting on evaporator coil when outside air temperature is below -5°C .

In this research, the heat regenerative technology was employed to eliminate the frosting on evaporator coil and improve the COP of the heat pump system. This fiber belt heat regeneration system(FBHR) has very simple structure consisting of a geared motor and a porous fiber belt passing through alternatively between cold and warm air duct.

The laboratory test showed that the heat pump system with a FBHR yielded an impressive COP higher than 3.5 at the outside air temperature of -7°C in heating mode.

주요용어(Key Words) : 열펌프(Heat pump), 성능계수(COP), 난방(Heating), 냉방(Cooling), 섬유벨트(Fiber belt), 열재생 시스템(Heat regeneration system)

1. 서 론

세계기후협약으로 인하여 우리 나라는 화석연료 사용량을 최소한 2010년까지 2000년 수준으로 감축시켜야 할 처지에 놓여 있다. 따라서 지구 온난화의 주 요인이 되고 있는 이산화탄소 배출량을

2010년 예상배출량의 21% 정도를 감축해야 하며, 경제활동은 1/4 이상이 축소되는 영향을 받게 된다(차재호, 1998). 따라서 현재 화석에너지에 의존하는 난방법은 자연에너지 또는 전기에너지 등으로 대부분이 전환되어야 할 것으로 전망하고 있다. 그러나 농업시설에 이용되고 있는 난방에너지

This study was conducted by the research fund supported by Rural Development Administration(RDA) and article was submitted for publication in July 2000; reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in September 2000.

The corresponding author is Y. S. Ryou, Researcher, Agricultural Energy Lab., National Agricultural Mechanization Research Institute, 249 Seodun-dong, Kwonsun-ku, Suwon City, Korea. E-mail: <ryos0418@namri.go.kr>.

는 대부분이 화석에너지에 집중되어 있으며, 온실, 축사, 버섯재배사 등에서 겨울철 난방에 소요되는 에너지 비용은 총경영비의 10~40%를 차지하고 있다.

자연에너지와 전기에너지를 조합하여 난방에 이용할 수 있는 방법중의 하나로 열펌프 이용기술이 있으며, 국내의 경우 열펌프는 주로 냉방 또는 냉동을 목적으로 이용되고 있으나, 1980년 이후 전기가 풍부한 경제선진국을 중심으로 난방 또는 냉난방겸용의 열펌프가 개발되어 주택, 빌딩, 온실 등의 공조시스템에 이용되고 있다.

이론적으로 열펌프는 응축기의 고온을 이용하는 경우가 증발기의 저온을 이용할 때 보다 성능계수(COP)가 1.0 만큼 높은 것으로 알려져 있으며, 공기를 열원으로 이용하는 열펌프에 있어서는 열원의 온도가 -5.0°C 이하로 내려갈 때 증발기에 형성되어 열전달을 저해하는 성에를 제거하는 방법의 개발과 열원의 온도를 증발기를 통과하는 냉매의 증발온도 이상으로 유지시키는 방법의 개발 등이 난방 성능을 향상시키기 위한 주요 연구과제이다(Semi, 1995).

본 연구에서는 열펌프를 2중 덕트 구조의 일체형으로 제작하여 압축기, 응축기, 팽창밸브, 증발

기로 이어지는 배관의 길이를 최적화 하여 분리형 열펌프에서 성능저하의 원인이 되는 관내 압력손실을 최소화 하였으며, 실내에서 응축기로 유입되는 공기에 포함된 열의 일부를 흡수하여 실외에서 증발기로 유입되는 공기를 예열하므로써 외기 온도가 -5.0°C 이하로 떨어지는 경우에도 증발기를 통과하는 공기의 온도를 -5.0°C 이상으로 유지하면서 성에의 형성을 방지할 수 있는 열재생 사이클을 부착하여 외기온에 관계없이 안정한 성능을 발휘할 수 있도록 시스템을 구성하였고, 또한 4-way 밸브를 이용하여 난방과 냉방을 겸할 수 있도록 제작하였으며, 열펌프의 난방성능특성을 구명하였다.

2. 재료 및 방법

가. 증발기 성에방지용 열재생 시스템

겨울철 우리 나라의 기후조건에서 열펌프가 경제성을 갖기 위해서는 -10°C 의 저온에서도 COP가 3.0 이상이 되어야 하지만, 일반적으로 공기를 열원으로 하는 열펌프는 외기온이 -5.0°C 이하로 떨

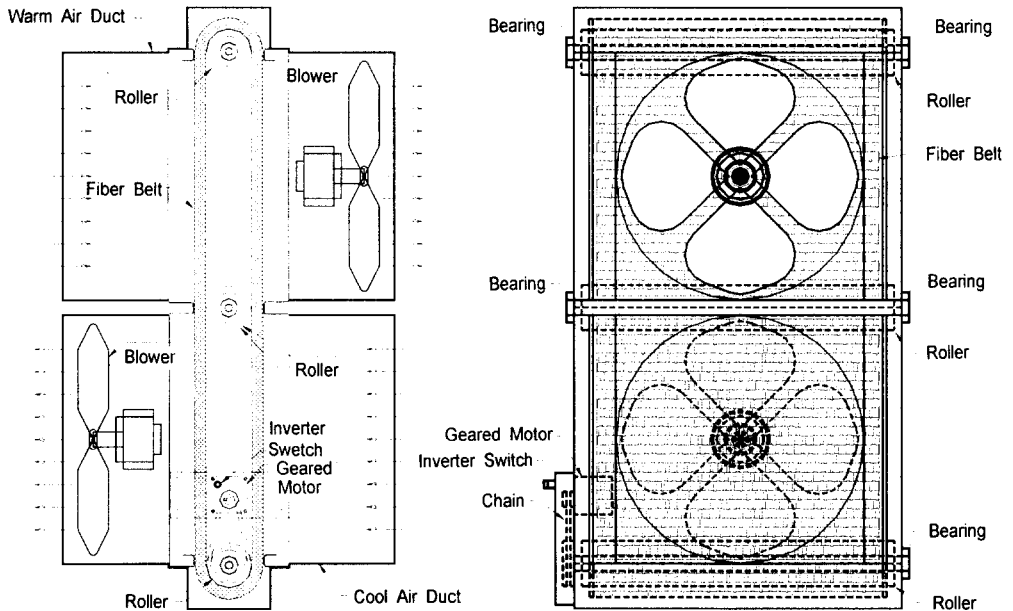


Fig. 1 Fiber belt heat regeneration system.

어지면 증발기에 성애가 형성되어 열전달을 방해하기 때문에 증발기의 흡수열량이 급격히 줄어들어 COP가 2.0 이하로 떨어지게 된다. 따라서 -5.0°C 이하의 저온에서 열펌프를 효율적으로 이용하기 위해서는 증발기에 형성되는 성애를 제거할 수 있는 기술 개발이 요구된다.

본 연구에서는 이와 같이 증발기에 성애가 형성되는 것을 효과적으로 방지하여 저온에서 열펌프의 COP를 향상시킬 목적으로 그림 1에서 보는 바와 같이 온풍 덕트와 냉풍 덕트 사이를 섬유벨트가 회전 이동하면서 온풍덕트의 열을 냉풍덕트로 이동시키는 열재생 시스템을 설계 제작하고 열교환 성능시험을 수행하였다.

나. 냉난방겸용 열펌프 시스템

증발기에 성애가 형성되는 것을 방지하여 열펌프의 성능계수를 향상시킴으로서 대기온도가 -5.0°C 이하로 낮아지는 경우에도 난방기로 이용할 수 있고, 여름철에는 냉방기로 이용할 수 있는 냉난방 겸용 열펌프를 그림 2에서 보는 바와 같이 설계하였으며, 냉난방시 열펌프의 성능을 평가하기 위해서 각 절점의 온도와 압력을 측정하였다.

다. 성능 계측

섬유벨트 열재생 시스템과 열펌프의 성능을 산정하기 위해서는 온도, 풍속, 냉매유량, 냉매압력, 전력량 등을 측정해야 하며, 계측용 recorder로 DR230 (Yokogawa, Japan)을 사용하였다. 각각의 측정량은 표 1에서 보는 바와 같은 sensor와 transducer로 계측하여 recorder에 입력하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 섬유벨트 열재생 시스템의 열교환 성능

열펌프의 증발기에 형성되는 성애를 방지하기 위해서는 증발기에 부착된 열교환핀의 표면온도와 공기의 상대습도를 고려하여 증발기에 유입되는 공기의 온도를 노점온도 이상으로 높여 주어야 한다. 따라서 섬유벨트 열재생 시스템의 온도효율은 대단히 중요하며, 열회수형 환풍기의 온도효율 산정식을 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

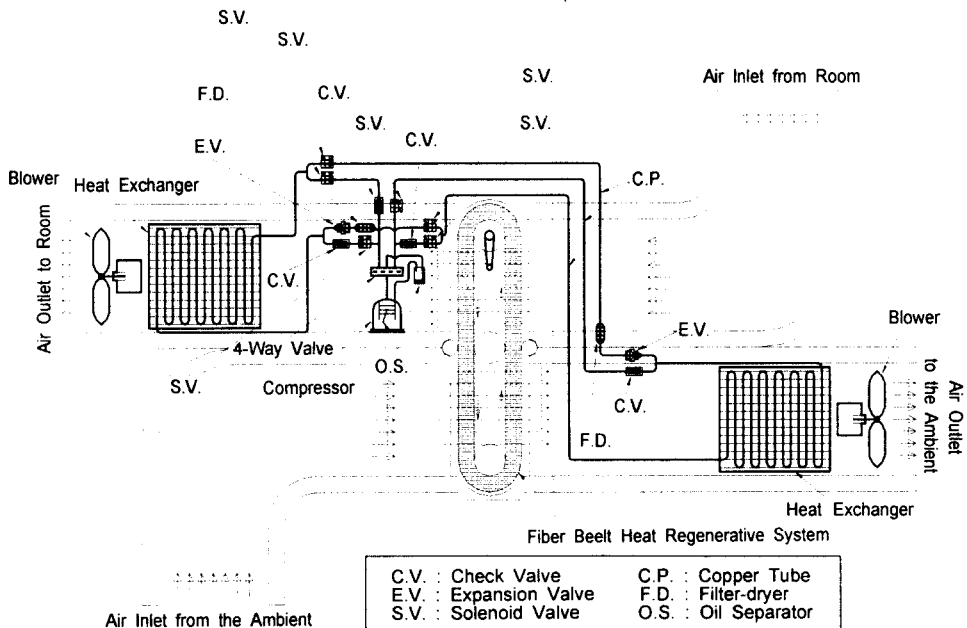


Fig. 2 Experimental heat pump system with a fiber belt heat regeneration system.

Table 1 Sensors and transducers for measuring temperature, air velocity, electric power and flow rate of refrigerant

Measuring items			
Temperature	Air Velocity	Electric Power	Flow Rate
Sensor : T type Probe : ϕ 1.0mm Accuracy : $\pm 0.05\%$	Model : TSI8465-225 (USA) Range : 0~50m/s Output : 0~5V Accuracy : $\pm 2.0\%$	Model : 3181-01 (Hioki, Japan) Range : 0~2000W Output : 0~5V Accuracy : $\pm 1.0\%$	Model : PT868 (Panametrics, USA) Range : 0~12.2m/s Output : 4~20mA Accuracy : $\pm 1.0\%$

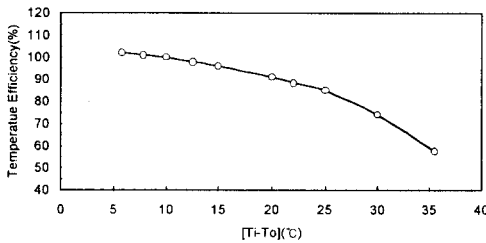


Fig. 3 Temperature efficiency of fiber belt heat regeneration system.

$$\eta = (Tr - To) / (Ti - To) \dots\dots\dots (1)$$

여기서,

Tr : 열교환기를 통과한 후 증발기에 유입되는 공기온도

To : 열교환전 외기온도

Ti : 실내에서 열교환기로 유입되는 공기온도

본 연구에서는 열교환을 위한 벨트 소재로 다공질의 random matrix 구조를 가진 두께 20mm의 섬유를 이용하였으며, 송풍기의 풍속을 일정하게 유지시킨 상태에서 섬유벨트의 속도를 조절하여 열교환량을 조절하였다. 그림 3은 섬유벨트의 회전속도를 120rpm으로 고정한 상태에서 실내공기(Ti)와 실외공기(To)의 온도차를 5~35°C로 변화시켜가며 온도효율을 측정된 결과이다.

그림 3에서 보는 바와 같이 실내외 온도차가 10°C 이하인 경우에는 온도효율이 100%를 상회하였고, 10~15°C에서는 90% 이상으로 나타났으며, 실내외 온도차가 15~35°C 증가함에 따라 온도효율은 90~58%까지 곡선적으로 감소하는 경향을 보였다. 실내외 온도차가 10°C 이하인 경우 온도효율이 100%를 상회한 것은 실내공기에 포함된 수

분잠열이 실외에서 유입되는 공기에 전달되었기 때문인 것으로 판단된다. 이와 같은 결과로 보아 온도효율을 높이기 위해서는 실내외 온도차가 커짐에 따라 섬유벨트의 회전속도를 증가시켜야 할 것으로 판단된다. 실내외 온도차가 일정한 경우에 온도효율의 최대오차는 $\pm 1.2\%$ 였으며, 이는 공기중에 포함된 수분이 증발하거나 응축되면서 온도센서에 영향을 주었기 때문인 것으로 판단된다.

섬유벨트 열재생 시스템의 엔탈피 효율은 다음과 같이 식(2)를 이용하여 계산할 수 있다.

$$\eta_{Hh} = \frac{[Vo2 \gamma (ho2 - ho1) - V\Delta \gamma (h11 - ho1)] - QE}{[V11 \gamma (h11 - ho1) - V\Delta \gamma (h11 - ho1)]} \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

여기서,

η_{Hh} : 열재생시스템의 엔탈피효율 (%)

γ : 공기의 비중량 (kg/m³)

V11 : 온풍덕트 입구의 풍량 (m³/hr)

Vo2 : 냉풍덕트 출구의 풍량 (m³/hr)

V Δ : 실내측 입구에서 출구쪽으로 순환되는 풍량 (m³/hr)

h11 : 온풍덕트 입구공기의 엔탈피 (kcal/kg)

ho1 : 냉풍덕트 입구공기의 엔탈피 (kcal/kg)

ho2 : 냉풍덕트 출구공기의 엔탈피 (kcal/kg)

QE : 소비전력량의 열량 (kcal/kWh)

그림 4에서 보는 바와 같이 실내외 온도차가 5°C에서 35°C까지 증가하는 동안 열재생 시스템의 엔탈피 효율은 96%에서 53%까지 곡선적으로 감소하는 경향을 보였으며, 실내외온도차가 25°C 이

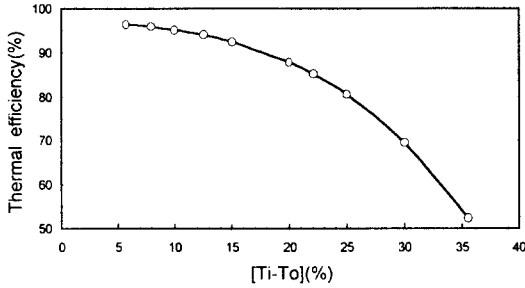


Fig. 4 Thermal efficiency of fiber belt heat regeneration system.

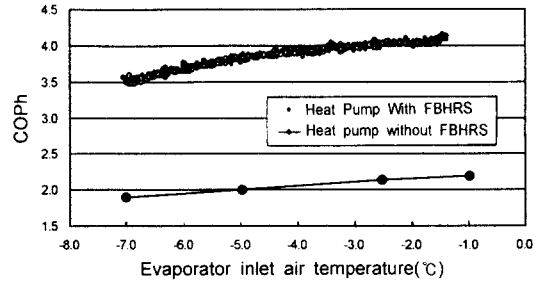


Fig. 5 COPh of heat pump with a fiber belt heat regeneration system in heating mode.

Table 2 Cost analysis and comparison between light oil air heater and heat pump.

Items		Light Oil Air Heater	Heat Pump
Purchase price(won)		4,000,000	20,000,000
Durable year(yr)		6	10
Total use(hours/yr)		659	659
Annual fixed cost (won/yr)	Depreciation	666,667	1,800,000
	Repair cost	200,000	1,000,000
	Interest	80,000	440,000
	Sum	946,667	3,240,000
Fixed cost(won/hour)		1,437	4,917
Operating cost(won/hour)	Fuel	5,761(100)	0
	Electricity	117	1,782
	Sum	5,878	1,782
Total cost(won/hour)		7,315	6,699
Annual operating cost(won/yr)		3,873,602(100)	1,174,338(30.3)
Annual cost(won/yr)		4,820,585(100)	4,414,641(93.0)

* Electric charge : 36.7 won/kWh
 Annual repair rate : 5 %, Annual interest : 4 %

하인 경우에는 엔탈피 효율이 80%를 상회하므로 증발기의 성에 방지효과 뿐만 아니라 열펌프의 성능계수 향상에도 크게 기여할 것으로 판단된다.

나. 열펌프의 난방 성능

본 연구에서 개발한 섬유벨트 열재생 시스템(fiber belt heat regeneration system)을 이용한 열펌프를 기존의 분리형 열펌프와 비교분석한 결과 그림 5에서 보는 바와 같이 증발기 유입공기의 온도가 -7~-1°C까지 변화하는 동안 난방성능계수(COPh)는 열재생 시스템을 이용한 열펌프가 3.5~

4.1로서 분리형 열펌프에 비하여 1.6~1.8 정도 향상된 것으로 나타났다.

이와 같이 난방성능계수가 향상된 원인은 열펌프를 일체형으로 제작하여 냉매배관의 길이를 최소화 하므로서 냉매의 관내압력 손실을 작게 하였고, 섬유벨트 열재생 시스템을 이용하여 응축기로 유입되는 실내공기로부터 흡수한 열을 증발기로 유입되는 저온의 공기에 전달하여 증발기의 성에 형성을 억제하므로서 증발기내에서 냉매의 증발이 원활하게 이루어졌기 때문인 것으로 판단된다.

그림 5에서 보는 바와 같이 증발기 유입공기의 온도가 -1°C 이상인 경우에는 냉매의 증발압력이

상승하여 컴프레서의 소비전력이 증가하기 때문에 난방성능계수의 증가율은 크게 둔화될 것으로 판단되며, 그래프의 경향으로 보아 증발기 유입공기 온도가 -10°C 일 때의 난방성능계수는 3.0 이상으로서 최저외기온이 -10°C 이상인 지역에서 열펌프를 난방시스템으로 이용하는 경우 난방비용 절감에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

다. 경제성 분석

열펌프를 이용하여 온실 난방을 수행하는 경우와 경유온풍기를 이용하는 경우를 비교분석한 결과 표 2에서 보는 바와 같이 연간비용은 약 7% 정도 절감되는 것으로 절감되는 것으로 나타났으며, 연간 운전비에 있어서는 70%까지 절감이 가능할 것으로 판단된다.

또한 열펌프는 냉방을 겸할 수 있기 때문에 고부가가치 작물을 재배하는 경우 여름철 고온기의 저온재배가 가능하여 기계이용효율을 높이고 농가의 소득증대에도 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

공기를 열원으로 이용하는 열펌프를 이용하여 온실난방을 효과적으로 수행하기 위해서는 열원의 온도가 -5.0°C 이하로 내려갈 때 증발기의 열전달을 저해하는 성에의 형성을 방지하고 열원의 온도를 증발기를 통과하는 냉매의 증발온도 이상으로 유지시키는 기술의 개발이 요구된다. 본 연구에서는 열펌프의 성능을 향상시키기 위하여 삼유벤텐 열재생 시스템을 부착한 일체형 공기열원 열펌프를 개발하였으며, 열펌프와 열재생 시스템의 성능시험을 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 성에 방지용 열재생 시스템의 성능시험을 수행한 결과, 실내외 온도차가 10°C 이하인 경우에는 온도효율이 100%를 상회하였고, $10\sim 15^{\circ}\text{C}$ 에서는 90% 이상으로 나타났으며, 실내외 온도차가 15°C 에서 35°C 로 증가함에 따라 온도효율은 90%에서 58%까지 곡선적으로 감소하는 경향을 보였다.

2) 열재생 시스템의 엔탈피 효율은 96%에서 53%까지 곡선적으로 감소하는 경향을 보였으며, 실내외온도차가 25°C 이하인 경우에는 엔탈피 효

율이 80%를 상회하므로써 증발기의 성에 방지효과 뿐만 아니라 열펌프의 성능계수 향상에도 크게 기여할 것으로 판단되었다.

3) 열재생 사이클을 이용하여 개발한 열펌프의 난방성능계수는 증발기 유입공기의 온도가 $-7\sim -1^{\circ}\text{C}$ 일 때 3.5~4.1로서 분리형 열펌프에 비하여 1.6~1.8 정도 향상된 것으로 나타났다.

4) 열펌프를 이용하여 온실 난방을 실시하는 경우의 난방비용은 경유 온풍난방기를 이용하는 경우에 비하여 약 7% 절감되며, 연간 운전비는 약 70%까지 절감되는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. Fang C. Chen. 1998. Heat Pump Having Improved Defrost System. United States Patent Number 5,845,502.
2. Gad Assaf. 2000. Heat Pump System and Method for Air- Conditioning. United States Patent Number 6,018,954.
3. James R. Hamish. 1999. Heat Pump and Air Conditioning System Compressor unloading method and Apparatus. United States Patent Number 5,996,367.
4. Kensaku Maeda. 1999. Heat Pump Device and Desiccant Assisted Air Conditioning System. United States Patent Number 5,966,955.
5. Rex K. Ambs. 1999. Heat Exchanger and Heat Pump Circuit. United States Patent Number 5,875,644.
6. Sami, S. M. and P. J. Tulej. 1995. A New Design for an Air-Source Heat Pump Using a Ternary Mixture for Cold Climates. Heat Recovery Systems & CHP 15(6):521-529.
7. Samuel Sami. 1994. United States Patent Number 5,309,732. Combined Cycle Air/Air Heat Pump.
8. Thomas G. Kiessel. 1999. Defrost Subcircuit for Air-to-Air Heat Pump. United States Patent Number 5,983,660.
9. URL: http://www.nan.co.kr/819/tes/suyang_01.htm
10. Yoriyuki Okuri. 1999. Heat Pump Type Air Conditioner. United States Patent Number 5,937,669.