

(論 文)

열펌프를 이용한 건조시스템의 성능비교 연구

김석광* · 이흥주**
(1992년 7월 20일 접수)

A Comparative Study of Heat Pump Drying System Performances

Seog Kwang Kim and Hung Joo Lee

Key Words : Heat Pump Dryer (열펌프 건조기), Energy Saving (에너지절약), Drying System (건조장치)

Abstract

An energy efficient drying system, utilizing a heat pump to recover the wasted heat with high efficiency is proposed. In conventional drying systems, over-heating occurs through a condenser as the same amount of air is provided into the evaporator and the condenser. In order to prevent the over-heating, part of the outlet air from the drying chamber must be bypassed or a part of heat in a condenser should be discharged. In this study, a heat pump dryer is proposed to increase the rate of vaporization in the drying chamber without release of the heat from the system. Since a part of the heat in the condenser is used to heat the air during the drying process of the proposed system, a high drying efficiency and low SPC(Specific Power Consumption) could be obtained. Comparing the performances between the proposed heat pump and a conventional one, it was found that the drying efficiency of the proposed heat pump is higher than that of the conventional heat pump by an amount of 7~25%.

기 호 설 명

<p>(COP)_a : 이론 성적계수</p> <p>(COP)_c : 역카르노사이클의 성적계수</p> <p>H_w : 물의 Enthalpy (kJ/kg)</p> <p>H_x : x에서 Enthalpy (kJ/kg)</p> <p>M : 공기의 풍량 (kg/H)</p> <p>M_v : 건조실에서 물의 증발량 (kg/H)</p> <p>M_w : 증발기에서 물의 응축량 (kg/H)</p> <p>n : 유량 분할비</p> <p>P_t : 전압 (bar)</p>	<p>P_s : 수증기의 분압 (bar)</p> <p>Q_d : 응축기에서 방출열량 (kcal/H)</p> <p>Q_h : 건조실에서 중간가열량 (kcal/H)</p> <p>T_{co} : 냉매의 응축온도 (K)</p> <p>T_{ev} : 냉매의 증발온도 (K)</p> <p>T_x : x에서 건구 온도 (°C)</p> <p>W : 압축일량 (kJ/H)</p> <p>X : 건조실에서 필요수분 증발잠열량에 대한 중간가열량비 (%)</p> <p>Y_x : x에서 절대습도 (kgw/kg)</p> <p>Ψ_1 : 상대습도</p> <p>Ψ_2 : 건조실 출구공기의 상대습도</p>
---	---

*정회원, 한국과학기술원 기계공학과

**정회원, 육군사관학교 병기공학과

1. 서 론

온도가 높아 회수가 용이한 廢熱은 거의 대부분 회수하여 재사용 하고 있으나 온도가 낮기 때문에 회수하기가 곤란한 폐열은 재사용치 못하고 그대로 내버려지는 경우가 대부분이다. 그러므로 비교적 낮은 온도의 廢熱源에서도 열을 회수할 수 있는 장치의 개발이 절실히 요청되고 있다. 그중의 하나인 열펌프는 에너지 절약을 위해 매우 중요한 역할을 담당하고 있으며 특히 건조장치에 이 열펌프를 이용하면 에너지 절약측면에서 유리하다.

1976년도에 Hodgett⁽¹⁾는 건조기에 열펌프를 적용하였을 때 그의 열효율을 이론적으로 구하여 보일러 스템에 의한 열풍건조와 상호 비교하였다. 그 결과 열펌프를 사용하는 것이 보일러를 사용하는 것보다 에너지 절약적인 측면에서 유리함을 제시하였다. 그후 Zylla⁽²⁾ 등은 1982년도에 열펌프 건조기를 개방형 열펌프 건조기와 밀폐형 열펌프 건조기로 구분하고, 밀폐형 열펌프 건조기를 다시 바이패스를 사용한 경우와 그렇지 않은 경우로 나누어 비동력소모율(specific power consumption, 이후는 SPC라 칭한다)을 구하여 열풍건조기와 상호 비교하였다. 여기서 비동력소모율이란 건조실에서 제거된 물의 량에 대한 공급된 에너지량의 비를 의미한다. 이 SPC 개념을 이용하여 각 경우에 대해 상호 비교한 결과 열풍건조기에 비해 열펌프 건조기가 우수하였고, 특히 바이패스를 이용한 열펌프 건조기가 가장 우수함을 이론적으로 입증하였다. 아울러 실제 응용된 예로는 石田⁽³⁾, 石井⁽⁴⁾, Strommen⁽⁵⁾ 등의 연구를 들 수 있다. 한편 열펌프건조기의 성능향상에서 가장 문제가 되는 것은 응축기에서 광잉열량을 감소시키는 것으로서 이것을 처리하기 위해 건조실의 출구공기를 바이패스시켜 응축기에 송풍량을 증가하는 방법⁽²⁾ 또는 응축기에서의 일부 열량을 제외로 버리는 방법을 주로 사용하고 있다. ⁽⁴⁾ 그러나 출구공기를 바이패스하는 경우는 제외에 열량을 버리지 않기 때문에 주어진 에너지의 활용은 크지만 바이패스로 인한 건조실 입구의 상대습도가 높아지기 때문에 건조실에서의 증발량이 적어지는 단점이 있고, 제외에 일부의 열량을 버리는 냉각탑에 의한 열펌프 건조에서는 증발량은 증가되지만 에너지 손실의 단점이 있다. 본 연구에서는 이들의 단점을 상호보완하여 주어진 에너지의 활용

을 크게 하면서 건조실에서 수분 증발량이 많아지는 건조용 열펌프 사이클을 제시하였다.

2. 열펌프 건조기의 해석

2.1 열펌프 건조기의 기본원리

열펌프 건조장치는 Fig. 2,3,4 에서와 같이 냉매는 1-2-3-4-1, 공기는 a-b-c-a의 과정을 반복하면서 장치내를 순환하는 것으로, 냉매는 압축기에 의해 순환되고 공기는 증발기와 응축기를 순환하면서 상대습도가 감소되는 원리를 이용한 것이다.

이때 증발기에서는 습한 공기가 냉각에 의해 제습이 이루어지는데 이는 습한 공기를 노점온도 이하로 냉각하여 제습을 행하는 것으로 Fig. 1에 공기의 상태변화를 습공기선도상에 나타낸 것이다.

그림에서 보듯이 1의 점으로 들어간 습한공기는 증발기 코일(coil)에서 냉각되지만 코일 입구부근의 표면온도는 비교적 높기 때문에, 이 공기는 노점온도에는 도달하지 않은 상태에서 냉각되므로 절대습도는 변화하지 않고 온도만 감소하여 2의 상태로 된다. 그러나 공기가 코일의 출구에 가까워지기 시작하면, 코일의 표면온도가 이 공기의 노점온도보다 낮아지기 시작하여 제습이 행해진다.

코일의 출구에서는 코일의 표면온도가 4로 되고 출구공기는 3의 상태에서 코일을 나와 절대습도는 Y₁에서 Y₃까지 제습한 것으로 된다. 3의 위치는 코일의 구조와 사용방법에 따라 정해지는 바이패스 비율(bypass factor)에 의해 변화하지만 상대습도는 대략 0.9 정도이다.⁽⁶⁾

(1) 열펌프 건조기의 성능

열펌프의 성적계수는 열펌프 사이클의 성능을 표시하는 중요한 값으로 역카르노 사이클과 이론 성적계수로 나누어 해석하며 역카르노 사이클의 성적계수는

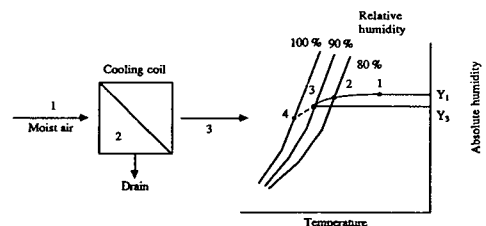


Fig. 1 Actual coil condition

$$(COP)_c = T_{co} / (T_{co} - T_{ev}) \quad (1)$$

이고, 이론 성적계수는

$$(COP)_a = \frac{Q_d}{W} \quad (2)$$

이며 (1)식과 (2)식은 다음과 같은 관계가 있다.⁽⁷⁾

$$(COP)_a = 0.57(COP)_c + 0.448 \quad (3)$$

열펌프 건조기의 성능은 성적계수뿐만 아니라 다음 식에 의해 정의되는 SPC로 판별할 수 있다.⁽²⁾

$$SPC = \frac{\text{에너지 공급/증발기에서의 수분응축 (kJ/kg)}}{\quad} \quad (4)$$

Fig. 3에서 건조실의 중간가열과정이 없다고 가정하고 SPC를 다시 쓰면 (2)식과 (4)식에서

$$SPC = \frac{W}{Mw} = \frac{(H_b - H_a)}{(Y_c - Y_a)(COP)_a} \quad (5)$$

로 표현되고 (COP)_a가 클수록, 증발기에서의 절대습도차 (Y_c - Y_a)가 클수록, SPC가 감소하므로 열펌프 건조기의 효율은 향상된다.

(5)식에서 엔탈피 (H_x)와 절대습도 (Y_x)는 다음과 같이 표현된다.⁽⁸⁾

$$H_x = (1.006 + 1.86 Y_x) T_x + 2500.77 Y_x \text{ (kJ/kg)} \quad (6)$$

$$Y_x = \frac{0.622 \cdot \Psi_2 \cdot P_s}{P_t - P_s} \text{ (kgw/kg)} \quad (7)$$

습공기중의 절대습도가 점차 증가하면 최후에는 수증기로 포화되는데 이 상태의 공기를 포화공기라 하며 포화공기중의 수증기 분압은 그 온도의 포화 증기 압력과 같고 다음과 같이 계산된다.⁽²⁾

$$P_s = \exp\left(23.42 - \frac{3952}{T_x + 232.4}\right) \text{ (bar)} \quad (8)$$

(2) 건조실에서 중간 가열과정

Fig. 2,3,4의 습공기 선도에서 b'-c'는 건조실내에서 중간가열과정을 나타낸 것으로 건조실내에 건조물을 건조하는 과정에서 수분 증발 잠열로 인해 건조실의 공기 입출구 온도차가 현저하게 된다. 그러나 건조실내의 수분증발량을 최대로 하기 위해서는 건조실 입출구의 온도차를 적게 해 줄 필요가 있고, 이의 목적으로 거의 모든 연속 건조기에서 건조 과정중의 공기를 가열한다. 건조실에서 열손실이 없다면 단열과정이므로 건조실 전후의 엔탈피는 같고, 건구 온도의 엔탈피 차는 수분의 증발잠열량

과 같으므로 다음식이 성립한다.

$$1.006(T_b - T_c) = Mv \cdot H_w \quad (9)$$

따라서 건조실에서 수분의 증발에 필요한 잠열량 중 건조과정중 가열열량이 X%일 때 다음식이 성립한다.

$$H_c = H_b + 1.006(T_b - T_c) \cdot X \quad (10)$$

따라서 X=0.2 일때 건조실 입구공기 온도(T_b)는

$$T_b = \frac{(H_c + 0.2012T_c - 2500.77Y_b)}{(1.2072 + 1.86Y_b)} \quad (11)$$

이고 x=0.3 일때 건조실 입구공기온도(T_b)는

$$T_b = \frac{(H_c + 0.3108T_c - 2500.77Y_b)}{(1.3078 + 1.86Y_b)} \quad (12)$$

로 된다.

2.2 기존의 열펌프 건조장치

(1) 바이패스 없는 열펌프 건조장치

Fig. 2은 바이패스가 없는 열펌프 건조장치이며 증발기와 응축기 그리고 건조실이 밀폐 사이클로 이루어지는데, 응축기에서의 방출열량은 증발기에서 흡수된 열량보다 압축기의 일량만큼 증가하므로, 증발기와 응축기에 동일한 공기량을 순환시키면 응축기에서의 온도와 압력이 상승하여 성적계수가 감소하게 되므로 시간당 물의 증발량이 많을지

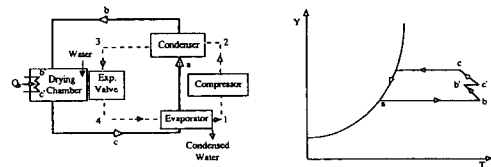


Fig. 2 Schematic diagram and psychrometric chart of the heat pump without bypass in a drying process

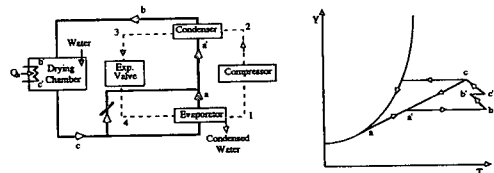


Fig. 3 Schematic diagram and psychrometric chart of the heat pump with bypass in a drying process

라도 건조 효율이 감소한다. 이 시스템의 열평형은

$$W + M(Hc - Hb) = Mw \cdot Hw + \text{Heat Losses} \quad (13)$$

이고 건조실에서 증발되는 물의 양(Mv)과 증발기에서 제거된 물이 양(Mw)이 같으므로 다음의 관계식이 성립한다.

$$Mv = Mw = M(Yc - Yb) \quad (14)$$

따라서 SPC는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \text{SPC} &= \{W + M(Hc - Hb)\} / Mw \\ &= \{(Hb - Ha) + (Hc - Hb) \\ &\quad \cdot (\text{COP})a\} / (Yc - Yb) \cdot (\text{COP})a \end{aligned} \quad (15)$$

(2) 바이패스에 의한 열펌프 건조장치

열펌프 건조장치에서 응축기의 과잉열량을 방지하기 위해 Fig. 3와 같이 건조실에서 나온 습공기(c)는 바이패스와 증발기로 나누어 보냄으로서 (Tco - Tev)를 낮추어 (COP)a의 값을 증가시키기 위한 것이다. 따라서 증발기의 흡수열량은 감소하는데 비하여 응축기를 통과하는 풍량은 증가하게 되어 성적계수 및 건조효율이 향상된다. 바이패스 밸브로 통하는 공기를 n, 증발기를 통하는 공기를 1-n의 비율로 나누어 보내질때 n은 다음과 같으며 n=0.25 일때 최적조건이 된다.⁽⁹⁾

$$\begin{aligned} M \cdot n \cdot Tc + M(1-n)Ta &= Ta' \cdot M \\ \therefore n &= (Ta' - Ta) / (Tc - Ta) \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} M \cdot n \cdot Yc + M(1-n)Ya &= M \cdot Ya' \\ \therefore n &= (Ya' - Ya) / (Yc - Ya) \end{aligned} \quad (17)$$

이 시스템의 열평형은

$$W + M(Hc - Hb) = Mw \cdot Hw + \text{Heat Losses} \quad (18)$$

이고, 질량 평형은

$$M \cdot (Yc - Yb) = Mw \cdot Hw \quad (19)$$

이므로 SPC는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \text{SPC} &= \{W + M(Hc - Hb)\} / Mw \\ &= \{(Hb - Ha') + (Hc - Hb) \\ &\quad \cdot (\text{COP})a\} / (Yc - Yb) \cdot (\text{COP})a \end{aligned} \quad (20)$$

2.3 제시된 열펌프 건조장치

전술한 기존의 열펌프 건조장치가 가지고 있는 결점을 보완하여 효율을 더욱 향상시키기 위해서, 응축기에서는 온도와 압력이 상승하여 성적계수가

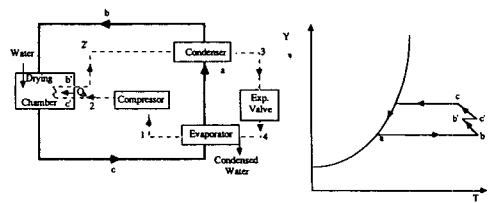


Fig. 4 Schematic diagram and psychrometric chart of the proposed heat pump in a drying process

감소하는 것을 방지하고, 압축기에서 배출된 고온의 기체냉매는 응축기에 들어가기 전에 건조실을 통과 시키므로써, 냉매가 고온의 기체상태로 가지고 있는 열의 일부를 건조실에서 방출하여 건조과정에 있는 공기를 직접 가열하도록 본 연구에서는 열펌프 시스템을 새롭게 제시하였다.⁽¹⁰⁾

Fig. 4에서 건조실의 폐열이 熱源인 열펌프는 증발기에서 열을 흡수하여(4-1구간) 압축기에서 저압의 냉매를 압축시킨다(1-2구간). 압축기에서 고온고압의 상태로 송출된 냉매가스는 건조실에서 1차 냉각되고(2-2' 구간) 다시 응축기를 통과하면서 외부로 열을 방출하여(2'-3구간) 냉매는 액체로 되고, 팽창밸브를 지나 저온저압의 상태에서 증발기로 다시 들어가게 된다.

한편 Fig. 4의 습공기 선도를 보면 건조실에서 배출된 습공기(c)는 증발를 통과하면서 냉각 재습되고(a), 응축기를 통과하면서 b까지 온도가 상승한다. 상태 b에서의 절대습도는 a에서의 절대습도와 같으나 b에서의 상대습도는 a에 비해 대단히 낮아지므로 b의 공기는 고온건조한 상태에서 건조실에서 들어가 증발잠열로 인해 b'까지 온도가 떨어진다.

그러나 건조효율을 향상 시키기 위해서는 건조실의 입출구 온도차가 적을수록 증발효과는 향상되므로, b' 점에서 건조과정중의 습공기를 압축기의 고온 냉매가스로 c'점까지 공기를 가열시켜 건조를 행하므로써, 건조실에서 수분증발량이 증가된다.

Fig. 2와 같이 증발기와 응축기에 동일풍량을 순환시키면 냉매는 Fig. 5의 P-h 선도에서와 같이 1-2'-3'-4'-1의 순으로 작동된다. 따라서 증발온도를 일정하게 유지하면서 성적계수를 향상시키기 위해 열량의 일부를 Fig. 4와 같이 건조실에 보내어 응축기에서의 응축열량이 감소하므로 응축압력과 온도는 낮아져 냉매는 1-2-3-4-1의 사이클을 이루게 된다. 따라서 그림에서 보듯이 냉각효

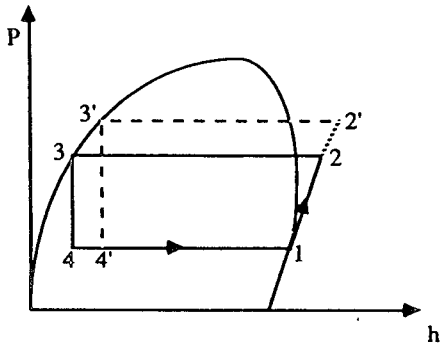


Fig. 5 Pressure-enthalpy diagram of the heat pump

과는 증가하고(1-4) 압축기의 일량은 감소하여 (1-2) 성적계수가 향상된다. 이 시스템의 열평형과 질량평형 그리고 SPC는 다음과 같다.

$$\text{열평형} : W + M(H_c - H_b) = M_w \cdot H_w + \text{Heat Losses} \quad (21)$$

$$\text{물질평형} : M(Y_c - Y_b) = M_v \quad (22)$$

$$\text{SPC} : \text{SPC} = \frac{W}{M_v} = \frac{(H_c - H_a)}{(Y_c - Y_a) \cdot (\text{COP})_a} \quad (23)$$

3. 기존의 시스템과 제시된 시스템의 성능비교 및 고찰

제시된 열펌프 건조기의 성능을 알아보기 위해 기존의 시스템과 다음과 같은 조건하에서 운전된다고 가정할 때 그들의 성능을 상호 비교하였다.

(1) 냉매는 R-12를 이용하였고, R-12와 2차 매체인 공기의 온도차는 열교환기에서 5°C로 하였다.⁽²⁾

(2) 증발기 출구의 상대습도는 0.9로 하였다.⁽⁶⁾

(3) 압축기일과 중간가열량은 열손실로 보았다. 건조는 가능한한 저온에서 건조를 행하는 것이 품질면에서 우수하며⁽¹¹⁾ 특히 온도 60°C에서는 어떤 종류의 단백질도 변질되는 온도⁽²⁾이기 때문에 곡물이나 어물 등의 건조에 있어서는 60°C 이하에서 건조를 해야 한다. 따라서 본 논문에서 건조실의 출구공기를 30°C와 40°C로 하여 앞에서 논의한 해석방법에 따라 Fig.2,3,4의 각 사이클에 대해 성능을 비교해 본다. Fig.6~13에서 (---)은 바이패스가 없고, (—)은 바이패스 있는 경우이며, (—)은 제시된 각각의 열펌프 건조기로서 증발기 출구

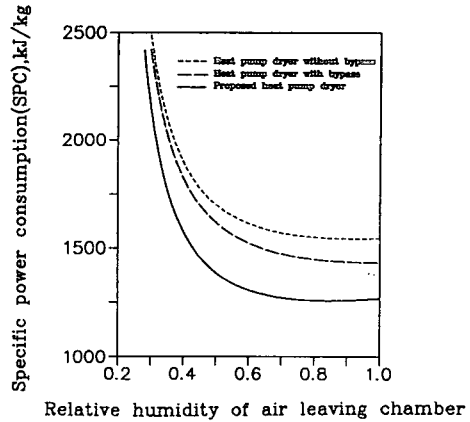


Fig. 6 Comparative analysis of different heat recovery methods for $T_c=30^\circ\text{C}$, $T_a=5^\circ\text{C}$, $X=0.2$

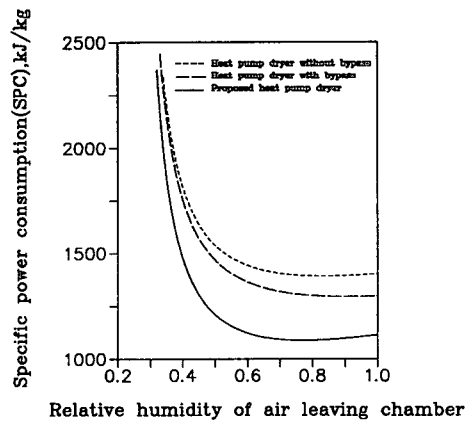


Fig. 7 Comparative analysis of different heat recovery methods for $T_c=30^\circ\text{C}$, $T_a=10^\circ\text{C}$, $X=0.2$

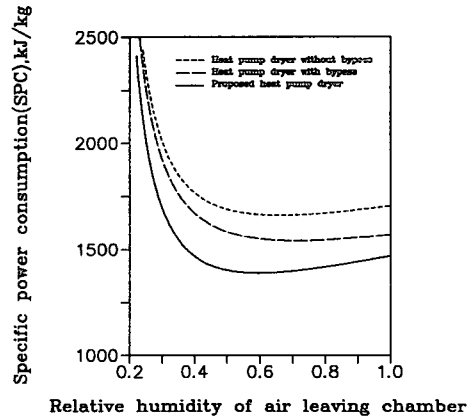


Fig. 8 Comparative analysis of different heat recovery methods for $T_c=40^\circ\text{C}$, $T_a=10^\circ\text{C}$, $X=0.2$

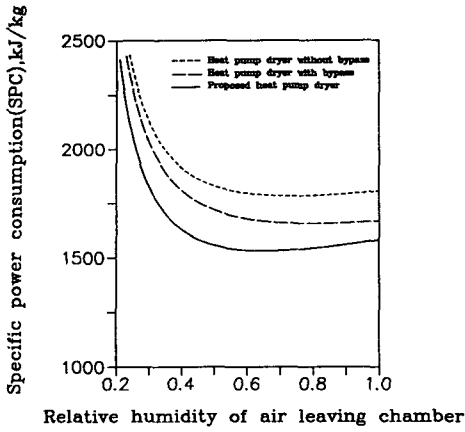


Fig. 9 Comparative analysis of different heat recovery methods for $T_c=40^\circ\text{C}$, $T_a=5^\circ\text{C}$, $X=0.2$

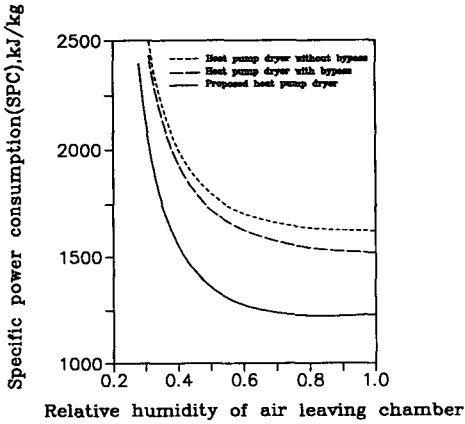


Fig. 10 Comparative analysis of different heat recovery methods for $T_c=30^\circ\text{C}$, $T_a=5^\circ\text{C}$, $X=0.3$

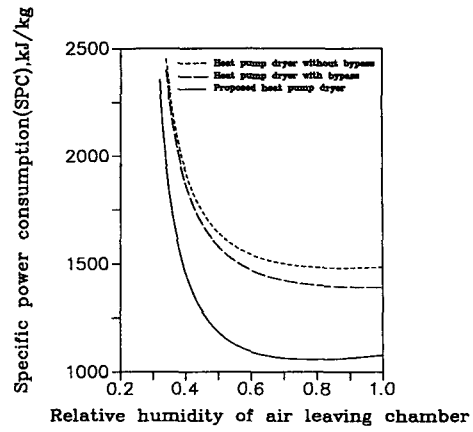


Fig. 11 Comparative analysis of different heat recovery methods for $T_c=30^\circ\text{C}$, $T_a=10^\circ\text{C}$, $X=0.3$

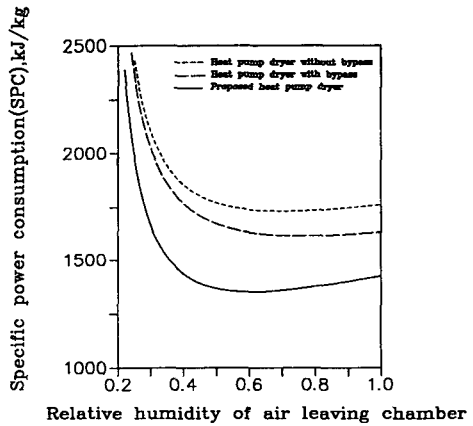


Fig. 12 Comparative analysis of different heat recovery methods for $T_c=40^\circ\text{C}$, $T_a=10^\circ\text{C}$, $X=0.3$

공기온도(T_a)는 5°C 와 10°C 인 경우 그리고 건조실에 중간가열량 $x=0.2$ 와 0.3 인 경우에 대해 각각 계산한 결과이다. 바이패스가 없는 시스템에 비하여 바이패스에 의한 열펌프 시스템은 Zylla⁽²⁾ 등이 주장한 바와 같이 어느 경우이든 건조효율이 향상되었고 제시된 열펌프 시스템은 건조효율이 가장 우수함을 보여주고 있으며 각 경우에 따라서 제시된 열펌프 건조기는 7~25%의 효율이 향상되었다. Fig. 6~9은 $X=0.2$, Fig. 10~13은 $X=0.3$ 인 경우의 계산 결과이다. Fig. 6~13에 나타난 계산결과에서 SPC가 최저인 점이 건조과정의 최적조건이 되는데, 본 연구에서 제안하는 건조시스템을 계산해본 T_c , T_a 및 X 의 범위내에서는 건조실 출구 공기의 상대습도가 0.5~0.8 사이에서 최적건조가 이

루어진다. 이 최적점보다 상대습도가 증가하면 오히려 SPC가 증가하는데 이것은 증발기에 최적흡열열량이 존재함을 알 수가 있다. Fig. 6~13 중 가장 SPC가 낮은 조건은 Fig. 11의 경우로서 건조실 출구공기의 상대습도가 0.76이므로, 건조실 출구공기의 상대습도를 0.76으로 놓고 중간가열량비(X)와 증발기 출구공기온도(T_a) 및 건조실 출구공기온도(T_c)를 변화시켜 계산한 SPC의 결과는 Fig. 14~16과 같다. Fig. 14에서 보듯이 중간 가열량비(X)가 클수록 제시된 시스템은 SPC가 감소함을 알 수 있다. 그러나 중간 가열량비(X)는 건조실에서 증발축진과 동시에 응축기에서 과잉열량을 제거하는데 목적이 있으므로 실제 설계시 건조실에서의 증발잠열량과 열펌프 시스템을 고려하여 X 를 결정

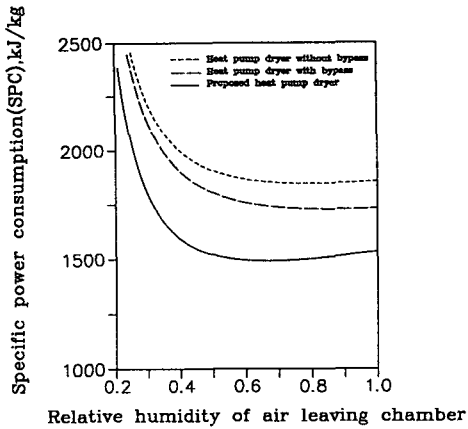


Fig. 13 Comparative analysis of different heat recovery methods for $T_c=40^\circ\text{C}$, $T_a=5^\circ\text{C}$, $X=0.3$

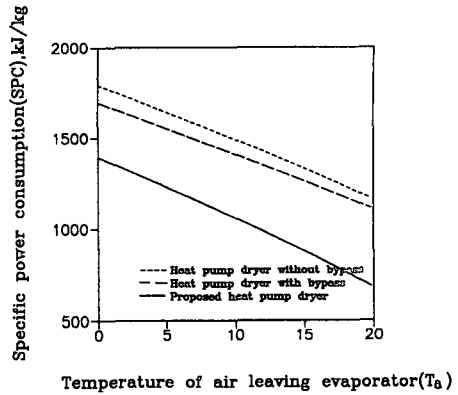


Fig. 15 Comparative analysis of different heat recovery methods for $T_c=30^\circ\text{C}$, $X=0.3$, $\Psi_2=0.76$

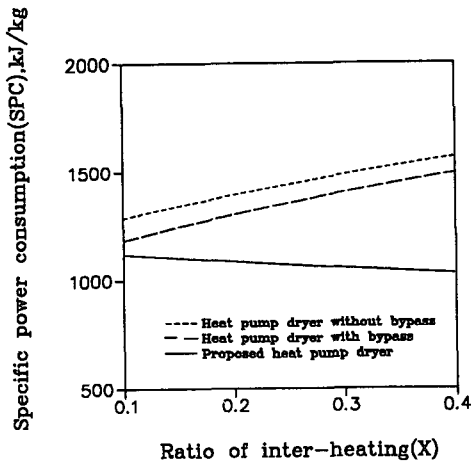


Fig. 14 Comparative analysis of different heat recovery methods for $T_a=10^\circ\text{C}$, $T_c=30^\circ\text{C}$, $\Psi_2=0.76$

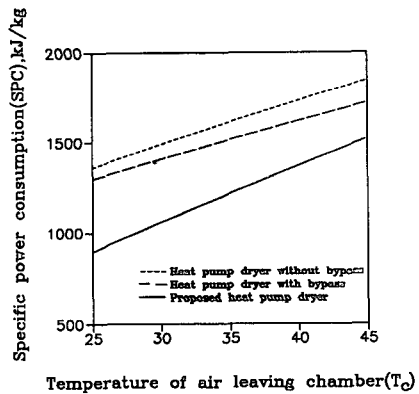


Fig. 16 Comparative analysis of different heat recovery methods for $T_a=10^\circ\text{C}$, $X=0.3$, $\Psi_2=0.76$

해야 할 것이다. Fig. 6,7,10,11과 Fig. 8,9,12,13에서 건조실의 출구공기온도는 각각 30°C 와 40°C 로 같게 하고 증발기의 출구공기 온도가 5°C 와 10°C 인 경우에 대하여 SPC를 계산한 결과이다. Fig. 15에서는 증발기 출구온도가 높은 것이 건조효율이 높음을 알 수 있는데 이것은 증발기에서 증발온도가 높아 지므로 성적계수가 향상됨을 의미한다. 그러나 증발기에서 습한 공기를 최대한 응축제거 하기 위해서는 증발기 코일에 서리가 끼지 않는 범위내에서 낮아야 하므로 실제 설계시에는 재료의 건조특성에 따라서 증발기 출구공기의 온도를 결정해야 한다. Fig. 6,9,10,13과 Fig. 7,8,11,12에서 증발기 출구공기

의 온도는 5°C 와 10°C 로 같게 하고 건조실 출구공기의 온도가 30°C 와 40°C 인 경우 비교해 보면 Fig. 16에서도 알 수 있듯이 건조실의 출구공기 온도가 낮을수록 건조효율이 높아지는 것을 나타내고 있다. 따라서 건조실내의 같은 열량 투입에서 건조성능을 향상시키기 위해서는 증발이 잘 이루어지도록 하여 건조실 출구공기의 온도를 낮게 유지해야 한다.

실제 건조에 있어서 피건조물의 건조특성, 건조 후 품질 등에 보다 더 중요한 경우가 많으므로 최적건조 조건은 건조기의 성능과 피건조물의 건조특성을 고려하여 결정해야 할 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 응축기의 일부열량을 건조실의 건조과정중 습공기 가열에 이용하는 열펌프 건조기를 제시하였다. 제시된 열펌프 건조기는 응축기에서 과잉열량을 건조실내의 건조과정중에 있는 공기를 가열하는데 이용하므로써 수분 증발량은 많아지고, 열펌프의 성적 계수가 개선되어 건조효율이 향상되었다. 제시된 열펌프 건조기를 기존의 것과 비교한 결과는 다음과 같다.

(1) 제시된 열펌프 건조기는 기존의 것과 비교하여 각 경우에 따라 7~25%의 건조효율이 향상되었으며 건조실에서 중간가열량의 비(X)가 클수록 향상되었다.

(2) 증발기에는 최적흡열 열량이 존재하며 건조과정 중 최적조건 이상으로 건조실 출구공기의 온도와 습도가 증가하면 오히려 SPC는 감소한다.

(3) 증발기 출구공기 온도가 높을수록 건조효율은 향상되었다.

(4) 건조실 출구공기 온도가 낮을수록 건조효율은 향상되었다.

따라서 제시된 열펌프 건조기를 산업용이나 농어촌 건조에 적용시킬 때 에너지 절감효과를 크게 하면서도 품질의 향상을 도모할 것이다.

참고문헌

- (1) Hodgett, D.L., 1976, "efficient Drying using Heat Pump," *The Chemical Engineer*, Vol.311, pp. 510~512.
- (2) Zylly, R., Abbas, S.P., Tai, K.W., Devotta, S., Watson, f.A. and Holland, F.A., 1982, "The Potential for the heat Pumps in Drying and Dehumidification System ; Theoretical Considerations," *Int. J. Energy Research*, Vol.6, No.4, pp. 305~322.
- (3) 石田宏司, 1982, "し尿汚泥の乾燥と實際について", *環境創造*, Vol.12, No.9, pp. 123~128.
- (4) 石井仁, 1984, "省エネルギー型ヒートポンプ式低温乾燥装置", *造水技術*, Vol.7, No.3, pp. 33~37.
- (5) Strommen, I., 1983, "New Equipment in Fish Drying," *Scandinavia Refrigeration*, Vol.4, p.208.
- (6) 石井仁, 1981, "冷却式除湿装置と省エネルギーについて, 空気調和と冷凍", Vol. 21, No.4, pp. 47~52.
- (7) Gutierrez, A.G., EI-Meniawy, S.A.K., Watson, F.A. and Holland F.A., 1979, "A Study of the Operating Characteristics of a Water-water Heat Pump System using R-12," *Indian Chemical Engineer*, Vol.21, No.4, pp. 3~15, 1979.
- (8) ECKERT, E.R.G., 1959, "Heat and Mass Transfer", McGraw-hill, New York, pp. 442~443.
- (9) 김승태, 1986, "열펌프 건조기의 최적운전조건", 한국과학기술원 기계공학과 석사학위논문.
- (10) 김석광, 1990, "열펌프 건조기", 특허 제 32814호.
- (11) 越桐喜一, 1986, "産業空調および産業利用面におけるヒートポンプ," *空気調和・衛生工學*, Vol. 60, No.1, pp. 19~27.
- (12) 정창주, 이종호, 1974, "우리나라 농촌에 알맞은 곡물건조기의 개발에 관한 연구", 과학 기술처 보고서, R-74-8, p. 16.