한국농업기계학회 2006 동계 학술대회 논문집 11(1):56-60

히트펌프를 이용한 농산물 건조기의 성능 해석

Performance Analysis of Dryer for agricultural Products using the Heat pump

강연구* 한충수** 금동혁*** 노수영** 김동철**** 조광환*
정회원 정회원 정회원 정회원 정회원 정회원
Y. K. Kang C. S. Han D. H. Keum S. Y. No D. C. Kim K. H. Cho

1. 서론

농산물 열풍건조기의 대표적 형태인 곡물건조기의 보급 대수는 1973년에 730대에 불과했으나 농촌노동력 부족현상 심화와 더불어 수확작업의 기계화에 의해 생탈곡 확대 등으로 급속히 증가하여 2001년에는 58,213대가 보급되었다. 또한 고추 및 잎담배 건조에 주로 이용되고 있는 농산물 열풍건조기는 167,967대가 보급되어 있다[1]. 이러한 열풍건조기는 유류를 사용하기 때문에 지금과 같은 고유가 시대에서는 이용농가의 소득에 심한 타격을 주게 된다. 그리고 짧은 수확기간 동안 열풍건조기의 이용률 제고를 위해 고온 단시간 건조가 널리 행해짐으로써 건조 농산물의 품질손상이 중요한 문제로 대두된다.

따라서 고유가 시대에 에너지 손실이 높은 농산물 열풍건조 보다 저온 건조 및 고품질 유지가 가능한 히트펌프를 이용한 건조시스템 및 농산물 저온저장을 겸할 수 있는 다목적시스템의 연구개발이 필요한 실정이다.

그러므로 본 연구에서는 히트펌프를 이용한 농산물 건조기의 성능 특성을 구명하였다.

2. 재료 및 방법

가. 구조 및 제원

그림 1과 2는 히트펌프를 이용한 농산물 건조기의 개략도와 사진이다. 건조실 내에는 건조대차가 4개 놓이고, 1개의 건조대차에는 10개의 건조상자가 장착된다. 표 1은 히트펌프를 이용한 농산물 건조기의 주요 제원을 나타낸 것이다.

나. 실험방법

건조실험에 사용한 고추는 경남 진주시 문산에서 생산된 녹광을 사용하였다. 1회 건조시료량은 총 120kg내외로 하고, 건조상자 1개당 약 3.0kg 정도로 하였다. 시료의 초기 함수율은 약 84%w.b이었으며 약 14%w.b까지 건조하였다. 건조온도는 50, 55, 60℃의 세 수준으로 하였으며, 건조 온도는 컨트롤러(DCC-4WV. Dae cheong control. Korea)를 이용하여 건조 초기부터

* 농업공학연구소 ** 충북대학교 바이오시스템공학과
*** 성균관대학교 생물기전공학과 **** 한국식품개발연구원

건조 최종시까지 유지하였다.

응축기 입, 출구 공기온도는 열전대(K-type)를 설치하여 측정값은 데이터 수집 장치(DA 100, Yokokawa, Japan)를 통하여 실시간으로 PC에 기록하였다. 응축기 출구의 풍량은 열선풍속계(velociplus, TA instrument, USA)를 사용하여 측정하였다. 순간 전력은 전력량계(VIP system, Elcontrol, Italy)를 사용하여 측정하였으며, 히트펌프의 성능계수는 측정된 응축기 입, 출구 공기온도차, 응축기 출구 풍량, 순간전력을 이용하여 산출하였다.

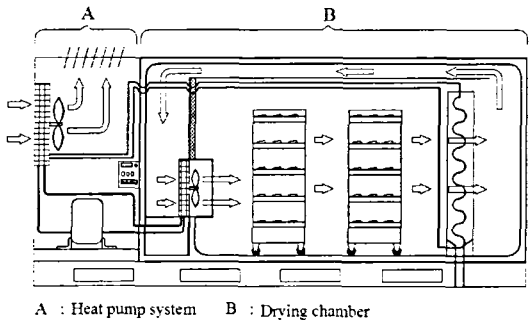

Fig. 1 Schematic diagram of heat pump dryer for agricultural products.

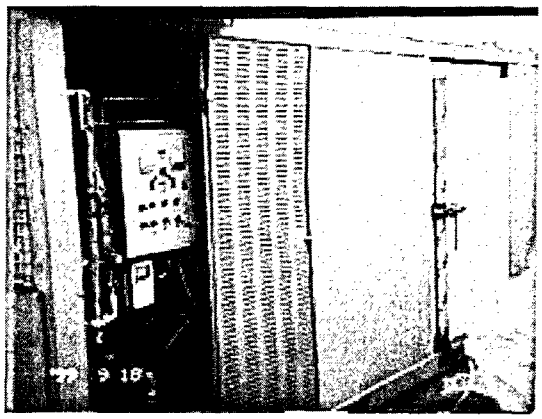

Fig. 2 View of heat pump dryer for agricultural products.

Table 1 Specifications of heat pump dryer.

Items	Specifications	Items	Specifications
Drying chamber	Size : 5.77×2.18×2.20m(L×W×H) Wall thickness : 100mm	Installation space of heat pump	Size : 1.00×2.18×2.20m(L×W×H)
Condenser	Size : 0.71×0.175×0.45m(L×W×H) Tube diameter : 15.88mm(5/8′) Heat transfer area : 17.0m^2 Manufacturer : Jinsol Energy, Korea	Evaporator	Size : 2.00×0.175×0.75m(L×W×H) Tube diameter : 10mm(3/8′) Heat transfer area : 67.86m^2 Manufacturer : Jinsol Energy, Korea
Compressor	Size : 7.5kW for heat pump Type : Reciprocating Manufacturer : Kyoungwon Century, Korea	Drying cart	Size : 0.80×0.90×1.775m(L×W×H) The number of drying cart : 4EA The number of drying shelf : 10EA/cart

건조실내 온도분포는 건조실을 응축기로부터 건조실 끝까지 길이 방향으로 전(1.2m), 중(2.6m), 후(4.0m)의 3개 단면으로 나누고, 한 단면당 25개소(측점과 측점사이의 거리 0.35m)의 측점에 열전대(K-type)를 설치하여 피건조물이 없는 상태에서 측정하였다.

건조 전, 후 고추 시료의 함수율은 시료 20개를 임의로 추출하고 세절하여 전자저울(HF-200GD, AND, Japan)로 약 15g을 계량한 후, 실험용 건조기(WFD600ND, Eyela, Japan)에서 105℃로 24시간 건조한 후 중량비를 계산하여 습량기준함수율로 나타내었다.

건조속도는 함수율비로 표시하였다. 함수율비는 약 3kg의 시료를 전자저울(LC5207, AND, Japan)에 매달아 중량을 30분 간격으로 측정하였으며, 측정된 중량을 함수율로 환산하였다.

에너지 소비량은 전력량계(VIP system, Elcontrol, Italy)를 사용하여 히트펌프의 소비 전력량을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 성능계수

그림 3은 히트펌프의 난방 성능계수를 경시적으로 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 외기온도가 23℃에서 13℃로 변함에 따라 난방 성능계수는 2.2~1.6 수준으로 외기온도의 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 또한 히트펌프의 난방성능계수가 비교적 낮은 수준이었는데 이것은 건조실이 협소하여 응축기에서 유출된 공기가 빠른 시간에 건조실을 순환한 후 응축기에 유입되어 응축기 입, 출구의 공기온도차가 크지 않았기 때문인 것으로 사료된다.

나. 온도분포

그림 4는 응축기로부터 2.6m 떨어진 중간단면의 온도분포를 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 일부분의 온도가 높은 것으로 나타났으나, 건조실 내에 건조대차를 배치하면 공기 흐름이 고르게 되어 온도분포가 더 균일해질 것으로 예측된다. 그러나 벼 건조시 템퍼링실의 온도편차가 2.5℃인 것[2] 과 비교해 볼 때, 온도편차가 그다지 크지 않기 때문에 온도분포면에서는 기존의 건조기와 큰 차이가 없는 것으로 생각된다.

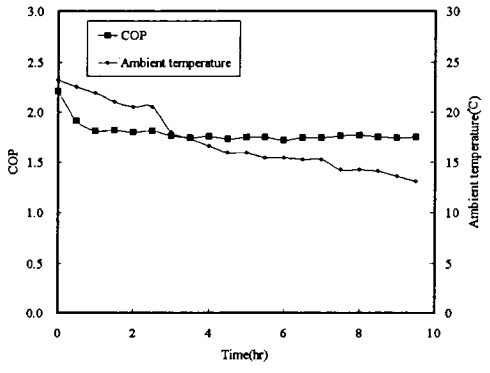

Fig. 3 Variation of COP of heat pump dryer at setting temperature of 55℃.

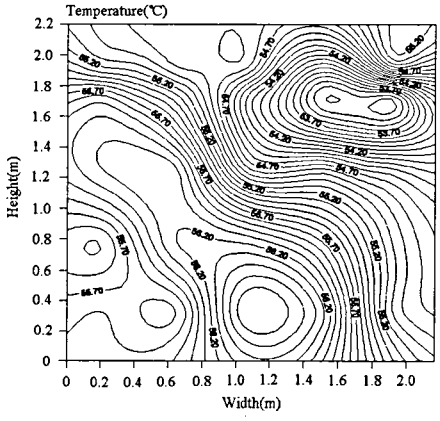

Fig. 4 Distribution of air temperature of middle section in drying chamber without drying load at setting temperature of 55℃.

다. 건조속도

그림 5는 히트펌프 시스템을 이용한 고추 건조의 함수율비를 나타냈으며, 지수함수의 경향으로 감소하는 것으로 나타났다. 함수율비 0.02에 도달하는 시간은 60℃건조의 경우 21시간이었으며, 55℃건조의 경우는 26시간, 50℃건조가 31시간으로 건조온도가 높을수록 건조소요시간이 단축되었다. 또한, 관행의 농산물 건조기로 고추 100kg을 건조할 경우 건조 소요 시간이 27시간인 것에 대해 60℃ 배풍건조는 건조시간을 6시간 정도 단축되었다. 같은 온도에서 히트펌프 제습건조기로 고추를 건조하는 경우, 관행 농산물 건조기에 비해 건조시간을 약 10시간 정도 단축할 수 있는 것으로 보고되어 있다[3].

라. 건조 소요에너지

히트펌프 건조기의 성능은 수분 1kg을 제거하는 데 소요된 에너지, 즉 비소요에너지 또는 비수분제거율(SMER)로 평가한다. 비수분제거율은 수분제거량(kg_{water})을 건조 소요 에너지(kWh)로 나눈 형태이며, 그 값은 1.0~3.0kg_{water}/kWh 수준이다[4].

그림 6은 건조방법에 따른 건조 소요 에너지당 제거되는 수분의 양을 비교하여 나타낸 것이다. 히트펌프 건조기를 이용하여 120kg 내외의 고추를 건조온도 50℃, 55℃, 60℃로 건조하는 경우, 건조 소요 에너지당 제거되는 수분의 양은 건조온도 50℃ 히트펌프 건조가 1.095kg_{water}/kWh, 55℃는 1.027kg_{water}/kWh, 60℃는 1.094kg_{water}/kWh로 나타났다.

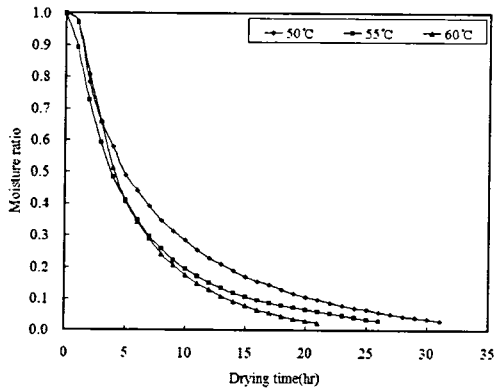

Fig. 5 Drying curves for red pepper dried by heat pump dryer.

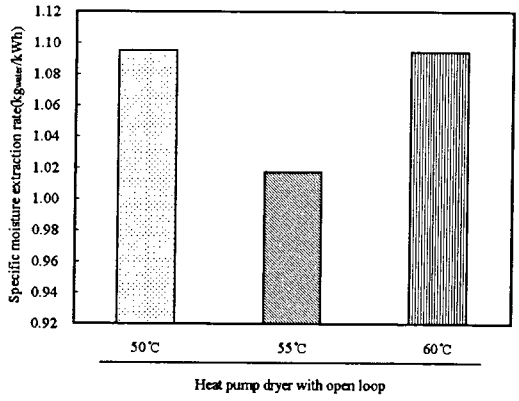

Fig. 6 Comparison of specific moisture extraction rate for different drying conditions.

4. 결론

고온 열풍 건조로 인한 건조물의 품질 손상 위험과 과다한 에너지 소모를 해결하고, 건조기가 연중 짧은 기간만 활용되어 높은 설치비용에 대해 낮은 활용 비율을 갖는 문제를 해결하기 위하여 본 연구를 수행하였으며, 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 히트펌프의 난방 성능계수는 외기온도가 23℃에서 13℃로 변함에 따라 2.2~1.6 수준이었다.
2. 응축기로부터 2.6m 떨어진 중간단면의 온도분포는 일부분의 온도가 높은 것으로 나타났으나, 대체적으로 균일하였다.
3. 함수율비 0.02에 도달하는 시간은 60℃건조의 경우 21시간, 55℃건조의 경우는 26시간, 50℃건조가 31시간으로 나타났다.
4. 히트펌프 건조기를 이용하여 120kg 내외의 고추를 건조하는 경우, 건조 소요 에너지당 제거되는 수분의 양은 건조온도 50℃일 경우 1.095kg_{water}/kWh, 55℃는 1.027kg_{water}/kWh, 60℃는 1.094kg_{water}/kWh로 나타났다.

5. 참고문헌

1. 통계청 통계자료, http://www.nso.go.kr/
2. 김유호 외 6인. 2002. 벼의 원적외선 건조특성에 관한 연구(I). 한국농업기계학회 동계 학술대회 논문집: 355-361
3. 조광한 외 5인. 2000. 농산물의 고품위 건조기계화 기술연구. 농업기계화연구소 농업기계화 시험연구보고서: 360-368
4. 송현갑 외 12인. 2002. 열에너지공학. 문운당
5. Prasertan, S. and P. Saen-saby. 1997. Heat Pump Drying of Agricultural Materials. Drying Technology 15(1&2): 125-139.