

# 온실용 히트펌프 시스템의 폐열을 이용한 고추건조

## Pepper Drying by the Heat Discharged from Heat Pump System in Greenhouse

윤 용 철\* · 서 원 명

경상대학교 농업공학부

Y. C. Yoon\* · W. M. Suh

Gyeongsang National University

### 서론

농산물의 적정 건조온도는 대상작물에 따라서 다르지만, 건조온도를 적정수준으로 유지하고 건조시간을 단축하기 위하여 기계식 건조가 많이 이용되고 있다. 이것은 건조시간의 단축뿐만 아니라 노동력도 상당히 절약할 수 있는 장점을 가지고 있으나 연료비의 불안정과 자원의 한계성 때문에 태양열을 비롯한 대체 에너지를 이용하는 연구가 꾸준히 이루어지고 있다(이 등, 1989).

현재 국내에서 재배되는 고추의 재배면적은 시설재배를 포함하여 100,000 ha 정도이고, 생산량은 330,000 t 정도이다. 이들중 건고추의 재배면적은 전체의 약 95 % 정도로서 대부분을 차지하고 있음을 알 수 있다. 건고추는 수확후 대부분 농가단위로 건조되고 있으며, 태양에너지를 이용한 자연건조가 일부를 차지하고 있고, 대부분 화석에너지를 사용한 건조기로 건조되고 있는 실정이다.

최근 건조기로 건조한 고추보다는 자연건조된 고추에 대한 소비자들의 관심이 고조되면서 태양에너지를 이용하여 고추를 건조하려는 농가가 점점 증가하고 있지만, 건고추가 생산되는 8~9월은 일기가 좋지 않아 고추건조에 많은 애로를 겪고 있다. 일부 지역에서는 효율적인 고추건조를 위하여 파이프 온실을 이용하여 고추를 건조하는 농가도 있다. 이러한 온실의 경우, 주간에는 태양에너지로서 그리고 야간에는 보일러에 의한 바닥온 형식으로 건조시키는 경우도 있다.

본 연구에서는 파이프 온실에서 냉방시 히트펌프에서 발생되는 폐열과 태양에너지를 이용하여 고추건조 과정을 실험적으로 검토하였다.

### 실험장치 및 방법

건조를 위하여 제작된 온실은 폭 3.9m, 길이 7m, 측고 1.3m, 동고 2.5m 인 1중플라스틱 피복재의 단동 파이프로서 측창을 갖춘 구조이다. 온실내부 바닥은 2중 플라스틱 필름으로 완전히 멀칭한 후, 고추건조를 위하여 바닥에서 30cm 높이에 1.8×1.8m 인 건조대를 설치하였다. 실험구에는 히트펌프에서 배출되는 야간 온풍을 효율적으로 이용하기 위하여 건조대 주위에 크기 2.0×2.0×0.9m 정도의 플라스틱 박스를 설치하였다.

주간동안은 실험구와 대비구 모두 자연환기상태로 두었고, 야간에는 측창과 출입문을

닫아둔 상태에서 실험구는 히트펌프의 폐열을 길이 8m, 출구직경 45cm 인 플라스틱 덕트를 이용하여 건조대로 공급하였다.

측정된 자료는 온실 내·외의 건습구 온도를 비롯하여 실험구의 경우는 야간의 온풍온도와 건조용 온실의 용마루부근에서 건조온실에서 배출되는 공기의 건습구 온도, 그리고 히트펌프의 냉풍온도, 온실내·외의 수평면 일사량 등이다.

고추의 함수율 변화를 관찰하기 위하여 실험구 및 대비구에서 무작위로 선정된 표본을 중심으로 매일 두 번, 즉 일출직전과 일몰직후 감도 0.1g인 저울(TP4KS)로서 무게를 측정하였으며, 실험 종료 후, 표본용 고추를 오븐 건조시켜 함수비 산정에 이용하였다.

실험에 사용된 히트펌프는 압축기의 용량 5.5kW, 응축기와 증발기의 용량이 5RT인 공기-물 방식이고, 실험 대상고추는 녹광으로서 각 건조온실에 20kg씩 동일하게 배치하였다.

실험은 9월 28일 야간부터 10월 19일까지 약 20여일로 하였고, 실험구 온실의 실험이 종료된 후, 대비구 온실의 고추를 실험구 온실로 이동시켜 마무리 건조를 실시하였다. 히트펌프는 일몰직후 작동하여 일출직후 정지시켰으며 그리고 비가내리는 날에는 히트펌프를 작동시키지 않았다.

## 결과 및 고찰

### 1. 기상상태

Fig. 1은 실험기간 동안 고추건조용 온실내·외의 평균기온과 외부의 수평면 일사량을 실험구의 실험종료일인 10월 11일까지 나타낸 것이다.

Fig. 1에서 알 수 있듯이 온실외, 실험구 및 대비구의 평균기온은 각각 14.4℃~22.8℃, 16.9℃~36.8℃ 및 15.2℃~23.8℃ 정도의 범위이다. 수평면 일사량은 3.21MJ/m<sup>2</sup>~16.76MJ/m<sup>2</sup> 정도이다. 실험구의 온도가 급격히 떨어진 것, 즉 2일, 6일 및 10일은 히트펌프를 작동시키지 않았기 때문이다. 그림에는 나타내지 않았지만, 전체 실험기간동안의 실외, 실험구 및 대비구의 최대기온은 각각 27.9℃, 47.3℃ 및 35.1℃ 였고, 최저기온은 각각 8.9℃, 11.0℃ 및 10.7℃ 정도였다.

### 2. 히트펌프의 작동 상황

Fig. 2는 실험기간동안 히트펌프를 작동시킨 경우, 각 측정지점의 온도를 측정한 결과를 나타낸 일례이다.

전체 실험기간동안 토출구의 온풍온도는 15℃~47℃ 범위로서 편차가 큰 편이었다. 이것은 실험에 사용된 히트펌프가 공기-물 방식으로서 외기온의 영향을 크게 받기 때문이다. 그러나 실험기간동안 외기온이 약 10℃ 이하로 내려갔던 몇 일을 제외하면 온풍온도는 평균 38℃ 정도였다. 건조대 상부온도의 온도는 토출구의 온도보다 1℃~2℃ 정도 낮았고, 배출구의 온도는 5℃~7℃ 정도 낮게 나타났다. 히트펌프의 냉풍온도는 10℃ 전후였다. 야간동안 대비구의 건·습구 온도는 외기온과 거의 같게 나타났다.

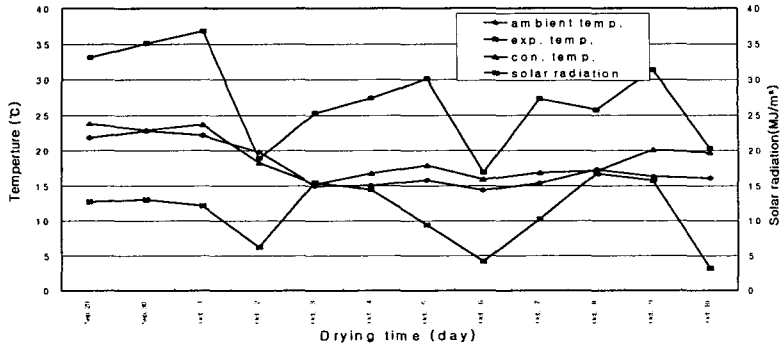


Fig. 1. Variation of Temperature and solar radiation during drying period.

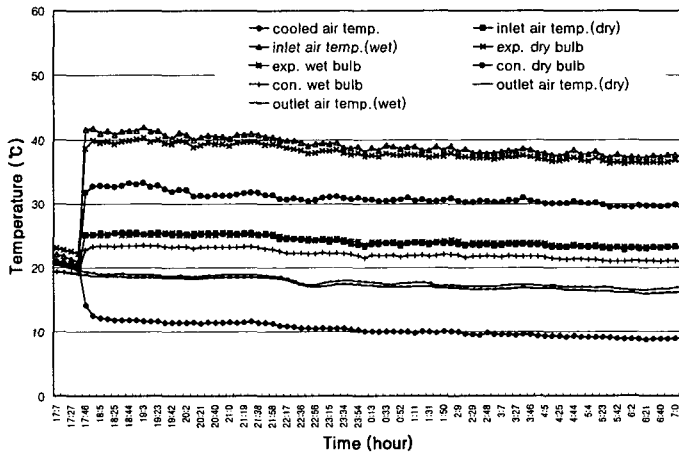


Fig. 2. Temperature variation of cooled and heated air.

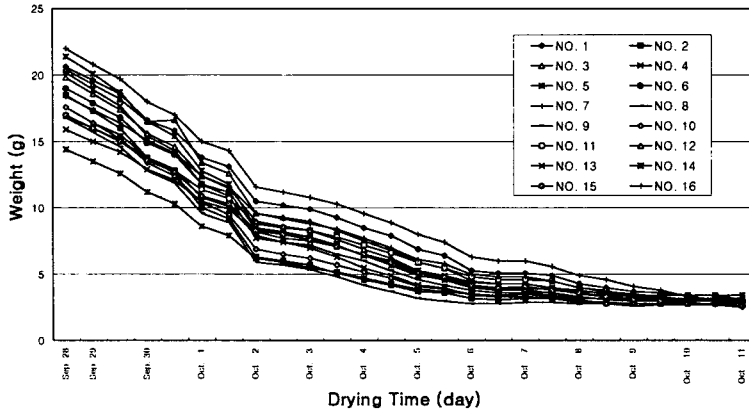
### 3. 고추의 건조

Fig. 3은 고추의 중량변화를 실험구 및 대비구에 대해서 나타낸 것이고, Fig. 4는 표본의 중량평균치와 평균기온을 나타낸 것이다.

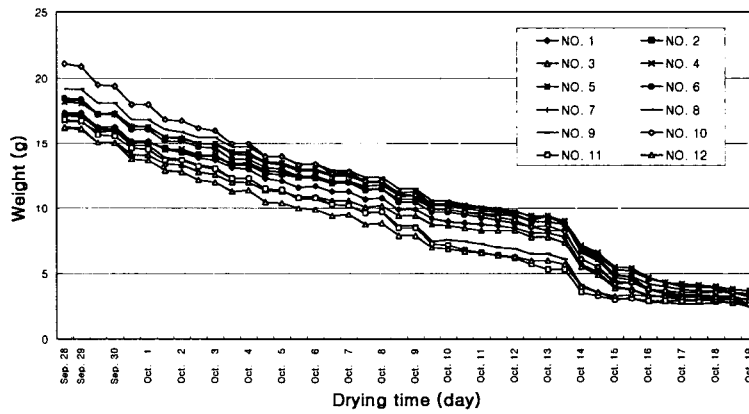
Fig. 3에서 알 수 있듯이 건조전 고추의 중량은 약 14g~23g 범위에 있고, 건조후에는 3g 전후였다. 일반적으로 건조고추의 함수비는 15~20% 정도인 것으로 알려져 있다(고 등, 1989). 본 실험결과 고추의 함수비는 10% 전후로서 이것보다 약간 적게 나타났다.

실험구의 경우, 고추의 중량이 건조초기인 4일동안 상대적으로 주야간 공히 급격히 감소하고, 그 후 약 1주일 정도는 서서히 감소하여 완전히 건조한 상태로 수렴하는 경향을 보이고 있다. 전체 건조일 수는 13일 정도이다. 대비구의 경우는 야간에는 거의 감소하지 않고, 실험구로 옮겨 히트펌프의 폐열을 가하기 이전인 10월 13일까지는 거의 일정하게 감소함을 알 수 있다. 그리고 건조일수는 21일 정도로 나타났지만, 히트펌프를 이용하지 않았다면 건조일수가 상당히 길어질 것으로 추정할 수 있다.

Fig. 4의 경우도 중량이 감소하는 경향은 거의 Fig. 3과 같음을 알 수 있다.



(a) experimental greenhouse



(b) control greenhouse

Fig. 3. Weight variation of red pepper at the drying condition.

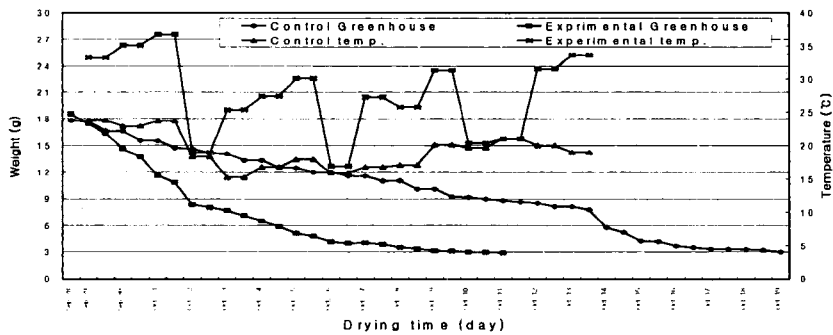


Fig. 4. Weight variation of red pepper and temperature radiation.

## 결론

본 연구에서는 온실냉방용 히트펌프의 폐열과 태양에너지를 이용하여 고추의 건조상태를 실험적으로 고찰하였다.

실험기간 동안 실외 수평면 일사량은  $3.21\text{MJ}/\text{m}^2 \sim 16.76\text{MJ}/\text{m}^2$  정도였고, 그리고 실외, 실험구 및 대비구의 최대기온은 각각  $27.9^\circ\text{C}$ ,  $47.3^\circ\text{C}$  및  $35.1^\circ\text{C}$  였다.

토출구의 온풍온도는 온풍온도는 평균  $38^\circ\text{C}$  정도였다. 건조대 상부온도의 온도는 토출구의 온도보다  $1^\circ\text{C} \sim 2^\circ\text{C}$  정도 낮았고, 배출구의 온도는  $5^\circ\text{C} \sim 7^\circ\text{C}$  정도 낮게 나타났다. 히트펌프의 냉풍온도는  $10^\circ\text{C}$  전후였다.

실험종료 후 표본 건조추의 함수비는 10% 전후였고, 실험구 고추의 건조일수는 대비구에 비해 상당히 적게 나타났다.

## 인용문헌

1. 고태균, 조용진, 박재복, 김용현, 강석완. 1989. 건조추의 재 건조 공정에서 에너지의 효율적 이용. 한국기계농업학회지 14(4).
2. 이태규, 조서현, 조덕기, 최영희, 오정무. 1989. 고추 건조를 통한 태양열 건조기의 열성분석. 태양에너지 2호. pp. 14~21.