

열풍과 원적외선 겸용 연속식 백삼 건조기의 개발

Development of a Prototype Continuous Flow Dryer using Far Infrared Ray and Heated-air for White Ginseng

박승제* 김성민* 김명호* 김철수* 이종호*
정희원 정희원 정희원 정희원 정희원
S.J. Park S.M. Kim M.H. Kim C.S. Kim C.H. Lee

1. 서론

고려인삼(Panax Ginseng C. A. Meyer)은 오갈피나무과(Araliaceae) 인삼속(Panax)에 속하며 4-6년 동안 그늘진 곳에서 재배되는 다년생 초본 식물이다. 인삼은 현재 우리나라뿐만 아니라 중국, 일본, 미국, 캐나다, 소련 등지에서 재배되고 있으나 우리나라 인삼은 “고려인삼”이라는 별칭으로 유통되고 있다. 이것은 고려인삼이 다른 인삼보다 월등히 품질이 우수하기 때문으로 판단하고 있다(고 등,1994). 인삼제품중 원형을 유지하는 건조제품으로는 홍삼, 백삼, 태극삼 등이 있으며 그동안 홍삼류는 국가 전매사업 대상으로서 한국담배인삼공사에서 조제, 가공 판매를 하였으나 1998년부터는 일반인도 취급이 가능하게 되었다. 홍삼은 원료수삼을 약 90℃ 이상의 증기로 증삼하기 때문에 이 과정에서 매우 유용한 약용 물질이 생성되는 것으로 알려져 있어 백삼보다 가공비는 높으나 가격이 매우 높기 때문에 일반 인삼가공업자들이 홍삼제조를 선호하고 있다. 또한 동남아나 중국 등지에서 고려 홍삼을 선호하기 때문에 더욱 그러한 경향이 나타나고 있다.

백삼을 제조하기 위해서는 원료수삼을 선별, 치미, 세삼, 박피, 1차 건조, 습침, 절각, 2차 건조, 등급선별, 포장 등의 가공공정을 거친다. 이 중에서 건조공정은 시간과 노력 및 에너지가 가장 많이 소요되는 공정이며 또한 백삼의 품위 결정에 가장 큰 영향을 주는 공정이다. 인삼의 건조는 과거에는 천일건조에 의존하였으나 노동력 부족 등의 이유로 현재는 인공화력건조에 의존하고 있다.

관행의 열풍건조(인공화력건조)는 여러 가지 에너지를 이용할 수 있지만 주로 석유 혹은 경유 버너를 이용하여 건조공기를 가열하는 방식을 채택하고 있다. 또한 건조 방식이 창고형 공간에 채반을 많이 설치하고 건조공기인 열풍의 입출구는 1-2개, 열풍의 와류와 혼합을 위하여 여러 곳에 선풍기를 설치한 배치식이 대부분이다. 투입 열풍의 온도는 약 45-50℃이며 안전 저장 함수율까지 건조하는데 소요되는 기간은 보통 3-4일 정도이다.

일반적인 열풍건조는 건조 소요에너지가 많고 고온일 경우 피건물의 품질이 저하되는 것으로 알려져 있다. 따라서 고품질을 유지하면서 에너지 소비를 최소로 하는 건조기를 개발할 목적으로 피건물 표면으로부터 수분을 증발시키는 열에너지를 원적외선으로 공급하고 수분을 시스템 외부로 운반하는 매체는 저온공기를 사용하는 개념을 도입하였다. 또한 원적외선 건조 효과가 낮은 가능성이 있는 여타 농산물을 건조할 경우와 시스템의 건조 용량을 극대화 하기 위하여 열풍건조를 병행할 수 있도록 하였다. 특히 에너지 절감효과가 있는 템퍼링 건조가 가능하도록 단별 제어가 독립된 연속식으로 설계하였다. 이러한 열풍과 원적외선 겸용 연속식 건조기를 설계 제작하고 이를 이용하여 중편 크기의 4년근 백삼의 건조특성을 구명하고자 하였다.

* : 전북대학교 농과대학 생물자원시스템공학부

† : 농림기술개발연구비에 의하여 수행되었습

2. 재료 및 방법

가. 실험재료

본 연구에서 사용한 시료인 원료 수삼은 1998년 전라북도 진안군에서 채굴되어 약 2 주일 정도 저온 저장된 중편급(직경 23-25 mm) 4년근 백삼을 구입하여 세척-치미-박피-세척을 하고 물기를 어느정도 제거한 후 비닐 용기에 밀봉하여 5℃ 냉장고에 보관하면서 필요시 실험에 사용하였다.

나. 실험방법

실험설계는 원적외선 방사관의 온도를 주구(80, 100, 120 ℃, 상온), 건조공기 열풍의 온도를 세구(40, 50℃, 상온)로 하는 2 반복의 분할구 배치법으로 하였다. 건조시간은 12시간으로 하였으며 실험은 인삼 수확 적기인 9-10월에 수행되었다. 실험 인삼 시료의 동질성을 유지하기 위하여 처리별 실험시료 편수는 많게 하기가 어려워 건조시스템 길이를 3 등분하여 위치별로 3 편씩 투입하였다. 건조공기의 풍속은 적외선 건조에서는 0.2m/s, 열풍건조에서는 0.4m/s 수준을 유지하였다. 각 위치별로 인삼의 표면과 인삼의 중심의 온도를 연속적으로 측정하였으며 2 시간 마다 시료의 무게를 측정하여 함수율의 변화를 계산하였다. 초기 함수율 측정은 70 ℃ 상압 대류식 건조 오븐에서 72시간 건조하는 방법을 기준으로 이용하였으나 실제 대부분의 건조 실험에서는 건조실험 처리 후 시료를 건조 오븐에서 48시간 건조시키는 방법을 이용하였다. 함수율 측정방법 실험에서 48 시간

이면 거의 완전 건조가 되는 것으로 분석되었기 때문이다.

다. 실험장치

그림 1은 열풍과 원적외선 겸용 연속식 건조기 시제품의 외관 사진이다. 건조가 수행되는 단수는 2 단으로 되어 있으며 연속식으로 1회 통과에 소요시간이 1-8 시간의 조절범위를 가지고 있다. 원적외선관의 표면온도는 최대 250 ℃ 까지

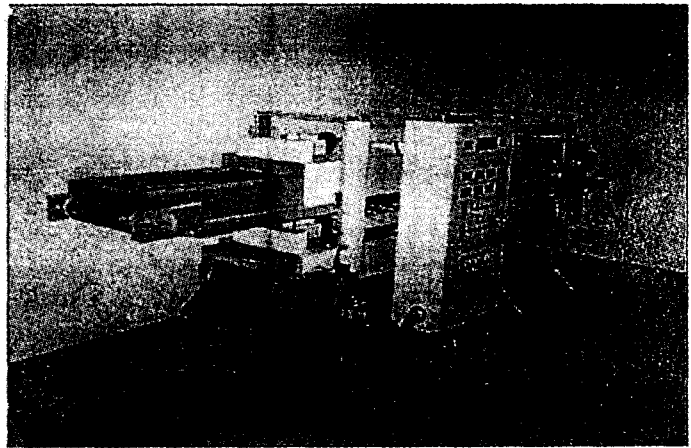


Fig. 1 Prototype continuous flow ginseng dryer using infrared ray and heated-air.

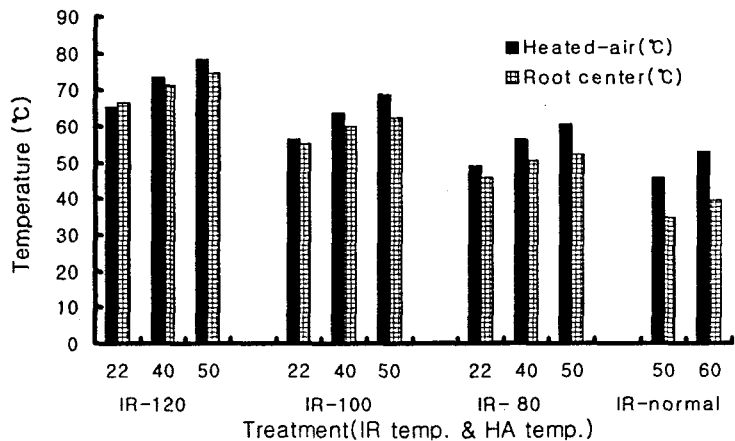


Fig. 2 Mean temperatures of heated-air and root center at various drying conditions.

제어가 가능하며 피건조물로부터 원적외선판 표면까지의 거리는 5-7 cm 정도 유지된다. 각 단별로 3 곳에서 외부 공기가 공급되고 각 단의 끝에서 고습도의 공기는 배출된다. 각 단별 3 곳에서 외부 공기를 공급하는 팬의 출구쪽에 코일 히터를 장착하여서 필요시 열풍을 공급할 수 있다. 본체의 길이는 약 4 m, 높이는 1.6 m, 폭은 0.7 m 정도이며 실제 건조구역의 총길이는 약 7 m(2단), 유효폭은 0.4 m 이다.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 실험처리별 건조 공기온도와 인삼중심온도의 평균값을 비교한 것이다. 그림에서 보면 방사판의 온도가 높을수록 복사열전달 효과로 인하여 인삼의 온도와 건조공기의 온도차가 적어지고 있다. 이러한 현상은 공기는 복사에너지에너지를 얻지 못하나 인삼은 복사에너지에너지를 직접 얻을 수 있기 때문으로 판단된다. 이러한 인삼의 온도 차이가 바로 건조속도의 차이를 일으키는 것으로 분석되며 이 복사열은 수분 증발잠열로 이용된다.

그림 3은 열풍 건조와 원적외선 건조 조건에 대하여 건조곡선을 비교한 것이다. 원적외선 건조에서 건조속도가 빠른 것을 알수 있으며 방사판의 온도가 80℃인 경우는 건조가 상당히 완만하게 진행된다.

열풍 건조와 유사한 곡선의 형태를 가지는 것으로 나타나고 있다. 열풍과 원적외선 혼합건조의 건조곡선도 경향은 동일하였다.

그림 4는 실험처리별로 건조기 성능지수의 상대적 비교치와 최종 함수비를 나타낸 것이다. 건조 에너지가 큰 열풍건조(방사판 온도는 무처리로 상온 유지) 조건인 열풍온도 60℃

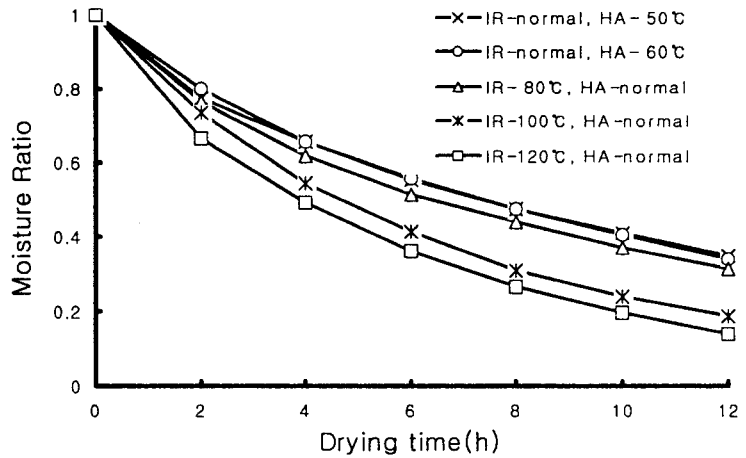


Fig. 3 Comparison of drying curve between IR-HA combined drying and heated-air drying for Korean white ginseng.

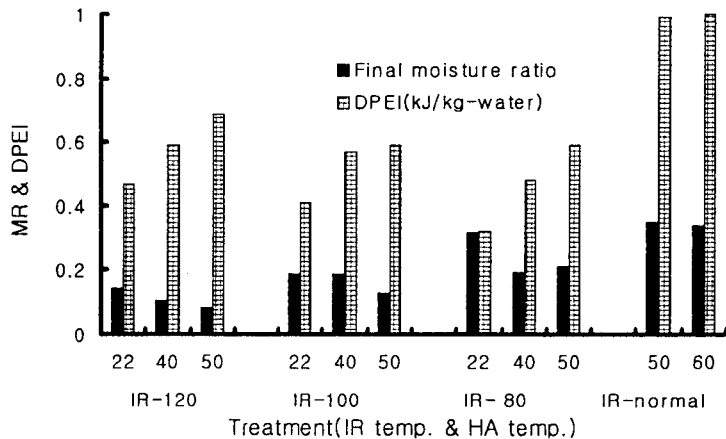


Fig. 4 Final moisture ratio and dryer performance evaluation index at various drying conditions.

를 기준으로 하여 건조기 성능평가지수의 상대적 비교를 하였는데 적외선 방사판의 온도가 높을수록 커지고 있다. 이 현상은 건조온도를 높일수록 에너지 효율 측면이 유리하다는 것과 상반된 결과이다. 하지만 건조효율은 피건조물의 함수율이 낮아질수록 불리하기 때문에 나타난 현상이다. 즉 방사판의 온도가 높은 조건이 같은 시간에 더 많이 건조가 되었기 때문이다. 그림에서 방사판의 온도가 높을수록 함수비가 낮아지고 있다. 열풍건조(60℃)조건은 최종 함수비가 0.34인데 이것과 유사한 함수비 값을 가지는 방사판 80℃, 열풍 무처리 조건(함수비 0.32)과 성능평가지수를 비교하면 적외선 건조의 성능평가지수가 1/3 (상대적 성능평가지수 0.32)에 불과하다. 이것은 건조 에너지 효율이 3 배가 된다는 것을 의미한다.

그림 5는 건조시간에 따른 함수비, 건조 에너지, 건조기 열효율을 나타낸 것으로서 시간의

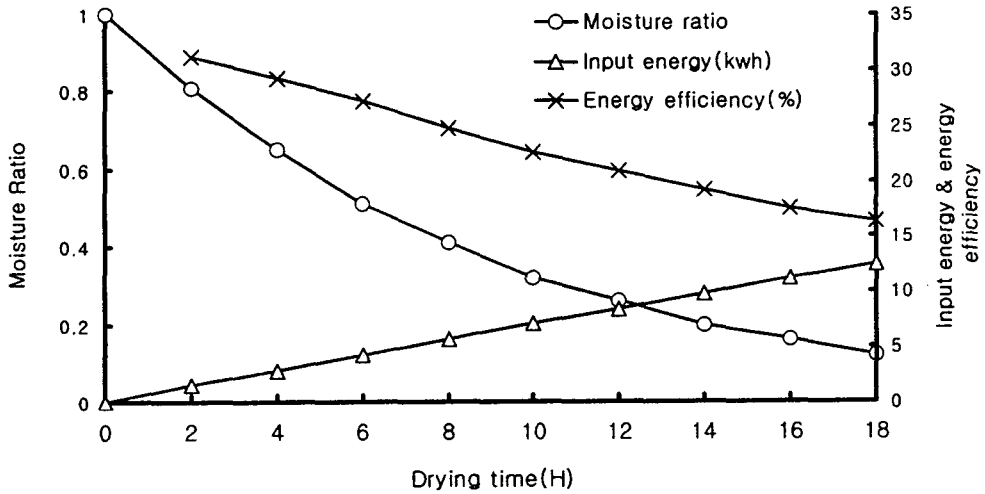


Fig. 5 Moisture ratio, input energy and energy efficiency with drying time at drying contion of IR-100℃, HA-normal.

증가에 따라 함수비는 지수함수 형태로 감소하나 건조에너지와 열효율은 거의 직선적으로 변화함을 보여주고 있다. 그러나 건조 시간 구간별 열효율은 함수비와 같이 지수함수 형태의 감소 추세를 보였다.

그림 6은 12시간 건조에서 인삼중심 평균온도와 최종 함수비간의 직선적 관계를 나타낸 것이다. 관계 회귀식은 $y = -0.0072x + 0.6054$ (y : 함수비, 소수; x : 인삼 평균온도,℃; $R^2 = 0.92$) 으로 분석되었다.

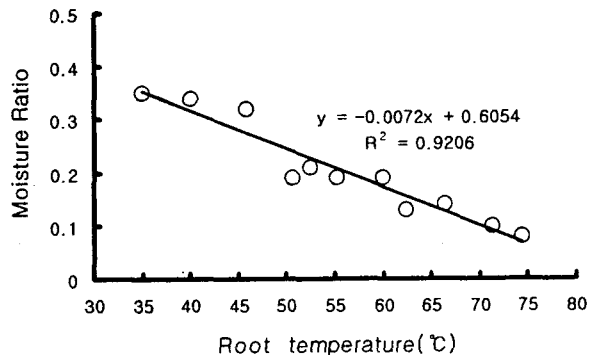


Fig. 6 Relation between root temperature and moisture ratio at drying condition of IR-100℃, HA-normal, 12 hours drying

그림 7은 건조시간 12시간 동안 인삼 시료 투입량(10편, 150편) 조건에 따라 인삼중심온도, 건조 공기(내부공기온도) 및 건조기 주변의 실내온도의 변화를 연속적으로 측정된 것이다. 건조기 내부의 공기온도는 거의 일정하지만 인삼중심온도는 시간이 증가에 따라 초기 2시간까지 급격히 증가하다가 그 후에는 완만히 계속 증가하고 있는 것이 특징이다. 인삼온도만 계속 서서히 증가하는 현상은 복사 흡수열은 동일한데 반하여 인삼 건조가 진행됨에 따라 표면에서 증발 수분이 감소하여 수분 증발잠열이 감소하기 때문으로 분석된다. 인삼 투입량 10편 조건과 150편 조건을 비교해보면 건조기 주변의 실내온도의 차이 보다 약간 적은 온도 차이를 보일 뿐 온도변화의 경향은 동일한 것으로 판단된다.

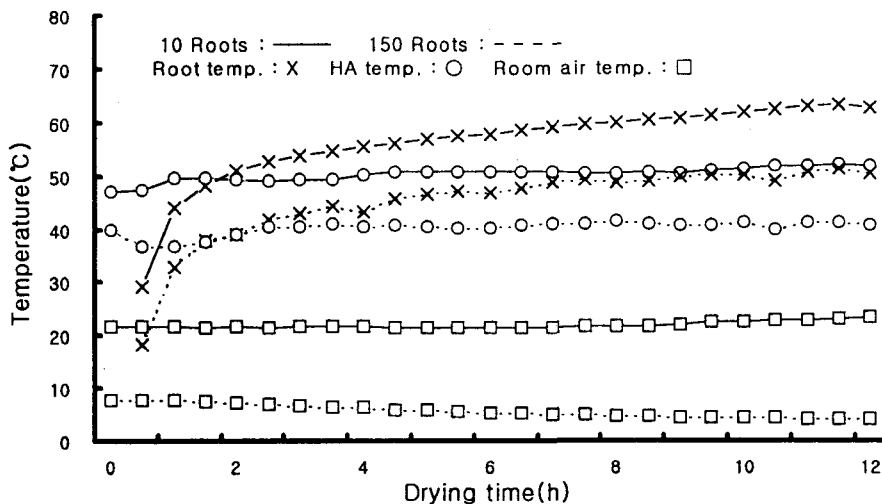


Fig. 7 Temperature changes of ginseng root and heated-air with drying time at two input loads.

표 1은 인삼 투입량에 따른 건조기의 성능을 종합적으로 나타낸 표이다. 표에서 보면 150편 투입조건은 12월 말 경에 실험이 이루어져 상대적으로 건조기 주위의 실내 공기온도가 약 5°C로서 10편 투입시보다 17°C 정도 더 낮았다. 이로 인하여 건조기 내의 건조공기 온도가 10편 투입시보다 상대적으로 12°C 정도 더 낮게 되었고 인삼의 평균온도도 9°C 정도 더 낮았다. 따라서 건조에너지는 20% 정도 더 소비되었지만 최종 함수비는 약간 더 높았다. 전반적으로 평가할 때 건조조건이

Table 1 Dryer performance at two input loads

Item	10 roots	150 roots
Final moisture ratio (MR)	0.19	0.26
Mean temperature of heat-air (°C)	56.3	44.5
Mean temperature in ginseng root (°C)	55.1	46.3
Room air temperature (°C)	21.9	5.0
Relative humidity in room air (% RH)	83.4	80.5
Relative humidity in exhaust heat-air (% RH)	45.8	64.7
DPEI (kJ/kg-water)	103496	11414
Dryer energy efficiency (%)	2.3	20.8

150개 투입시가 더 불리하였지만 건조기의 열효율은 9배 이상 높게 분석되었는데 이는 건조기의 성능에 적정 투입량이 중요하다는 것을 의미한다. 본 연구에서 개발한 시작품의 제원으로 볼 때 최대 투입 인삼 편수는 중편 기준으로 1500편 이상으로 판단되며 이 정도 투입시에는 건조기의 열효율이 65% 이상으로 추정된다. 또한 건조기의 성능평가 지수는 3800 kJ/kg-water 이하로 예측되며 열풍건조와 비교한다면 2.5배 이상 효율이 높을 것으로 판단된다.

4. 결론 및 요약

본 연구에서는 인삼의 효율적인 건조를 위해 기존의 열풍건조 방법과 원적외선 건조 방법을 조합한 연속식 건조시스템 시작품을 개발하여 설계 제작하고 이것을 이용하여 중편 크기의 4년근 백삼의 건조특성을 구명하고자 하였다. 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 시작품 건조시스템에서 건조실험을 수행한 결과 같은 함수비까지 인삼을 건조하였을 때 원적외선 건조의 성능평가지수가 열풍건조 성능평가지수의 1/3 수준으로 분석되었다.
2. 12 시간동안 연속 건조를 하였을 때 인삼의 온도와 최종 함수비는 반비례하는 특성을 보였으며, 선형 관계식은 $y = -0.0072x + 0.6054$ (y : 최종 함수비, x : 인삼온도, °C; $R^2 = 0.92$)으로 분석되었다.
3. 건조시간 구간별 건조 투입 에너지는 유사하였으나 구간별 건조기 에너지효율은 함수비와 같이 지수함수 형태로 감소하였다. 그러나 누적 건조 투입 에너지와 누적 건조기 에너지효율은 거의 직선적으로 증가하고 감소하였다.
4. 건조 시간이 증가함에 따라 건조기 내부의 건조 공기온도는 거의 일정하였으나 인삼의 온도는 초기 2시간 정도까지 급격히 상승한 후 지속적으로 완만히 증가하였다.
5. 건조 시스템에 투입하는 인삼의 량이 증가하여도 건조속도는 거의 차이가 없었으나 건조기 에너지효율은 투입량 증가율에 비례하여 증가하는 경향을 나타내었다.

참 고 문 헌

1. 고지훈 외. 1994. 고려인삼. 한국인삼연초연구원. 천일인쇄사
2. 고학균, 금동혁, 김만수, 노상하, 문성홍, 박경규, 장동일. 1990. 농산가공기계학. 향문사, 서울.
3. 이종철, 안대진, 변정수. 1986. 백삼건조 방법 개선 시험. 한국인삼연초연구원 보고서(재배분야):pp.626-638
4. 최병민. 1992. 인삼의 평형함수율 및 건조모델. 박사학위논문. 전북대학교원.
5. 최병민, 이종호, 박승제. 1992. 인삼의 건조특성 구명 및 건조모델 개발에 관한 연구. 고려인삼학회지 16(2) : 111-123
6. Fasina, O. O., R. T. Tyler, and M. D. Pickard. 1998. Modelling the infrared heating of agricultural crops. Drying Technology. 16(9&10): 2065-2082.
7. Li, Y. and R. V. Morey. 1987. Thin-layer drying rates and quality of cultivated American ginseng. TRANSACTIONS of the ASAE. 30(3): 842-847.
8. Sandu, C. 1986. Infrared ray drying in food engineering: a process analysis. Biotechnology Progress. 2(3): 109-119.