

열풍과 원적외선 겸용 연속식 백삼 건조기의 개발†

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

박 승 제*	김 성 민*	김 명 호*	김 철 수*	이 종 호*
정회원	정회원	정회원	정회원	정회원
S. J. Park	S. M. Kim	M. H. Kim	C. S. Kim	C. H. Lee

SUMMARY

This study was performed to develop a prototype continuous flow ginseng dryer with which better product quality and lower drying energy consumption could be achieved compared with conventional ginseng dryers. A dryer having both far infrared ray (IR) and heated-air as the drying energy sources was designed and fabricated. Dryer performance was studied by examining energy efficiencies and dryer performance evaluation indices (DPEI) during the drying tests of medium-sized four year ginseng roots with IR radiating plate temperature and drying air temperature in the range of 80~120°C and 22~50°C, respectively. The DPEI of IR/heated-air combined drying was 1/3 of that of the conventional heated-air drying when ginsengs were dried to the same final moisture ratio. When ginsengs were dried for 12 hours in the prototype IR/heated-air combination dryer, a linear relationship was found to exist between final moisture ratio and ginseng temperature. As the drying progressed, drying air temperature inside the dryer was nearly constant but ginseng temperature was drastically increased during the first two hours and gradually increased thereafter until the end of drying. With the prototype IR/heated-air combination dryer, the drying rate changed little but the energy efficiency increased proportionally when the amount of ginseng to be dried increased. Drying capacity, energy efficiency, and DPEI of the prototype IR/heated-air combination ginseng dryer were estimated to 1,500 roots, 65%, and 3,800 kJ/kg-water, respectively.

주요용어(Key Words) : 인삼(Ginseng), 백삼(White ginseng), 원적외선 건조(Far infrared drying), 연속식 건조기(Continuous flow dryer), 건조기 성능평가지수(Dryer performance evaluation index)

1. 서 론

고려인삼 (*Panax ginseng* C. A. Meyer)은 오갈피 나무과 (*Araliaceae*) 인삼속 (*Panax*)에 속하며 4~6년 동안 그늘진 곳에서 재배되는 다년생 초본 식물이다. 인삼은 현재 중국, 일본, 미국, 캐나다, 소련 등지에서도 재배되고 있으나 특별히 우리나라

인삼은 “고려인삼”이라는 별칭으로 유통되고 있는데, 이것은 고려인삼이 다른 인삼보다 월등한 품질을 갖고 있기 때문으로 생각된다 (高 등, 1994). 원형을 유지하는 인삼제품으로는 홍삼, 백삼, 태극삼 등이 있는데 그 동안 홍삼류는 국가 전매사업의 대상으로서 한국담배인삼공사에서 조제, 가공, 판매를 하였으나 1998년부터는 일반인도 제조가

† 1998년도 농림기술개발연구비 지원에 의하여 수행되었음

* 全北大學校 農科大學 生物資源시스템工學部 (農業科學技術研究所)

가능하게 되었다. 홍삼은 원료수삼을 약 90℃ 이상의 증기로 증삼한 후 건조시키는데 증삼 과정에서 유용한 약용 물질이 생성되는 것으로 알려져 있어 백삼보다 가공비용은 많이 들지만 판매가격이 매우 높기 때문에 일반 인삼가공업자들이 홍삼 제조를 선호하고 있다. 또한 동남아나 중국 등지에서의 고려 홍삼에 대한 높은 선호도 때문에 이 같은 추세는 더욱 증가하고 있다.

백삼이란 4년근 이상의 원료수삼에 대한 선별, 치미, 세삼, 박피, 1차 건조, 습침, 절각, 2차 건조, 등급선별, 포장 등의 가공공정을 거쳐 함수율이 12% 이하가 되도록 가공한 원형유지 인삼제품이다. 이 중에서 건조공정은 시간, 노력 및 에너지가 가장 많이 소요되는 공정이며 또한 백삼의 품위 결정에 가장 큰 영향을 주고 있다. 인삼의 건조는 과거에는 천일건조에 의존하였으나 노동력 부족 등의 이유로 현재는 열풍건조기를 이용한 인공화력건조에 의존하고 있다(李 등, 1986).

관행의 인삼 열풍건조 (인공화력건조)에서는 주로 석유나 경유 버너를 이용하여 건조공기를 가열하는 방식을 채택하고 있다. 대부분의 인삼 열풍건조기는 창고형 공간에 여러 개의 채반을 설치한 구조를 갖고 있는데 건조공기인 열풍의 흡·배기구는 1~2개이며 건조기 내부 기류의 와류화와 균일화를 위하여 여러 곳에 송풍기를 설치한 배치식이 주종을 이루고 있다. 투입 열풍의 온도는 약 45~50℃이며 안전 저장 함수율까지의 건조에는 보통 3~4일 정도가 소요된다(崔 등, 1992).

열풍건조 방식은 일반적으로 건조 소요에너지가 많고 고온의 건조공기를 사용할 경우 피건조물의 품질이 저하되는 것으로 알려져 있다. 이에 따라 저온제습건조, 진공건조, 진공동결건조, 마이크로파 건조, 원적외선 건조 등과 같은 새로운 건조방식을 농산물 특히 야채류와 약용작물의 건조에 이용하기 위한 많은 연구가 진행되고 있으며, 국내의 경우, 특히 농산물의 원적외선 건조는 많은 연구자들의 지속적인 관심을 받아 왔다 (高 등, 1990; 韓 등, 1994; 金 등, 1996; 李 등, 1998).

따라서 본 연구에서는 고품질을 유지하면서 에너지 소비를 최소화 하기 위해, 피건조물 표면으

로부터의 수분 증발에 필요한 열에너지는 원적외선으로 공급하고 증발된 수분을 건조기 외부로 운반하는 매체는 저온공기를 사용하는 건조개념을 기초로 한 인삼 건조기를 개발하고자 하였다. 건조기는 에너지 절감효과가 큰 템퍼링을 수행할 수 있도록 단별 제어가 독립된 연속식으로 설계하였으며, 원적외선에 의한 건조 효과가 낮은 여타 농산물을 건조해야 할 경우와 건조기의 건조 용량을 극대화하기 위하여 열풍건조를 병행할 수 있도록 열풍과 원적외선 겸용으로 제작하였다. 개발된 건조기의 성능시험과 건조특성의 구명은 중편 크기 4년근 인삼을 대상으로 건조실험을 실시하여 수행하였다.

2. 재료 및 방법

가. 실험재료

시료인 원료 수삼 (습량기준 함수율 약 75%)은 1998년 9월 전라북도 진안군에서 채굴되어 약 2주간 저온 저장된 중편급 (직경 23~25mm) 4년근 으로서, 구입 후 세척-치미-박피-세척을 하고 표면의 수분을 제거한 후 비닐 봉지에 밀봉, 냉장고에 보관하면서 필요시 실험에 사용하였다.

나. 실험장치

그림 1은 열풍과 원적외선 겸용 연속식 인삼건조기 시작품의 외관도이다. 피건조물은 이송 벨트에 놓여져 상·하 2단의 건조부를 통과하면서 열풍과 원적외선 에너지의 단독 또는 조합 사용에 의해 건조된다. 원적외선 방사판의 표면온도는 최대 250℃까지 제어가 가능하며 피건조물로부터 원적외선 방사판 표면까지의 거리는 5~7 cm 정도로 유지된다.

각 단별로 세 곳에서 외기를 흡입하여 건조 공기로 사용하는데, 흡기 팬의 출구 쪽에 코일 히터 (2 kW×6개)가 설치되어 필요시에는 흡입한 외기를 가열, 열풍으로 만들어 건조기 내로 공급할 수 있다 (그림 2). 피건조물로부터 증발된 수분에 의



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

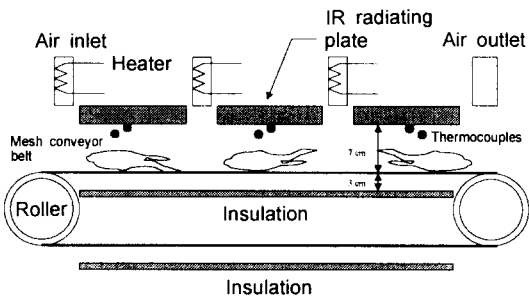


Fig. 2 Schematic diagram of the dryer interior.

해 습도가 높아진 건조공기는 각 단의 끝에 위치한 배기구를 통해 방출된다.

건조기 본체의 길이는 4m, 높이는 1.6m, 폭은 0.7m 정도이며 실제 건조가 이뤄지는 구역의 총 길이는 약 7m (2단), 유효 폭은 0.4m 이다. 건조 소요시간은 이송 벨트의 속도 제어를 통해 1~8시간 범위에서 조절이 가능하다.

다. 실험방법

실험설계는 원적외선 방사판의 온도를 주구 (80, 100, 120℃), 건조공기의 온도를 세구 (상온, 40, 50℃)로 하는 2반복의 분할구 배치법으로 하였으며, 관행 열풍건조법과의 비교를 위해 50℃와 60℃의 열풍만을 사용한 처리를 포함시켰다. 단, 원적외선 조합 건조의 경우 위에 언급한 건조공기의 온도란 흡기 팬의 출구 쪽 코일 히터의 조정과

관련된 설정값이었으며, 피건조물의 건조에 직접적인 영향을 주는 실제 건조기 내부 공기온도는 원적외선 방열판으로부터의 대류 열전달에 의하여 값보다 최소 11.1℃ (방사판 온도: 80℃, 건조공기 설정온도: 50℃ 일 경우), 최대 43.3℃ (방사판 온도: 120℃, 건조공기 설정온도: 22℃ 일 경우) 더 높았던 것으로 측정되었다.

총 건조시간은 12시간이었으며 인삼 투입량 비교 실험의 경우에는 18시간으로 하였다. 건조실험은 인삼 수확 적기인 9~10월에 수행하였으며, 시료 모집단의 동질성 유지 측면에서 실험처리별 시료 개수에 제한이 있었기 때문에 건조구역의 길이를 3등분하고 이들 위치에 시료를 각각 3편씩 올려놓아 총 9개의 시료를 대상으로 하나의 실험처리를 수행하였다. 건조공기의 속도는 원적외선 조합건조에서는 0.2m/s, 관행 열풍건조에서는 0.4m/s 정도를 유지하였다. 건조 소요에너지는 원적외선 방사판 가열 히터와 건조공기 가열 히터에 공급된 전력량을 적산전력량계로 측정하여 구하였다. 인삼 표면과 중심부의 온도는 시료에 미리 삽입해 놓은 열전대로써 연속 측정하였으며, 시료의 무게를 2시간마다 전자저울로 측정하여 건조과정 중의 함수율 변화를 구하였다. 건조시료의 초기 함수율은 70℃ 상압 대류식 건조 오븐에서 시료를 72시간 건조시켜 구하였으나, 최종 함수율은 70℃ 오븐에서 48시간 건조시키는 방법으로 구하였는데, 이는 예비실험 결과, 중·저 함수율 인삼의 경우 상기 조건하에서 48시간이면 거의 완전 건조가 되는 것으로 판명되었기 때문이다.

3. 결과 및 고찰

그림 3은 실험처리별 건조공기 온도와 인삼중심 온도의 평균값을 비교한 것으로서, 방사판의 온도가 높아질수록 복사열전달 양이 증가하여 피건조물인 인삼의 온도는 건조공기의 온도에 더욱 근접하게 됨을 보여주고 있다. 특히 열풍만을 사용하는 관행건조에서는 건조공기와 인삼중심 온도 간의 차이가 매우 큰 반면, 원적외선 조합건조에서는 이들 간의 차이가 상대적으로 작음을 알 수 있

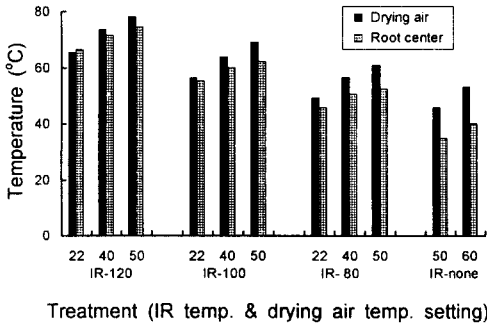


Fig. 3 Average temperature of drying air and center of ginseng root for various drying conditions.

고, 원적외선 방사판 온도 120℃, 건조공기 설정 온도 상온의 조건에서는 오히려 인삼 중심부의 온도가 건조공기의 온도보다 더 높게 나타나고 있다. 이러한 현상은 건조공기는 원적외선의 복사에너지를 얻지 못하지만 인삼은 복사에너지를 직접 흡수할 수 있기 때문인 것으로 생각되며, 각 건조조건에 따라 피건조물인 인삼 중심부의 온도가 서로 달라지는 것은 수분증발 잠열로 사용되는 복사열 전달 양의 차이와 밀접한 관련이 있을 것으로 생각되며, 이는 곧 건조속도에 영향을 미치리라 판단된다.

그림 4는 원적외선에 의한 건조 효과를 파악하기 위해 열풍과 원적외선을 각각 단독으로 사용했을 경우의 건조곡선을 비교한 것이다. 전반적으로 원적외선 건조가 관행 열풍건조에 비해 빠른 건조속도를 보였으나, 방사판의 온도가 80℃인 경우에는 건조가 상당히 완만하게 진행되어 관행의 열풍 건조와 유사한 형태의 건조곡선을 얻었다. 그림 5는 열풍과 원적외선을 함께 사용한 원적외선 조합 건조와 열풍만에 의한 관행 건조 간의 건조곡선을 비교하여 나타낸 것으로 원적외선에 의한 건조 효과가 확실하게 나타나고 있으며, 방사판의 온도가 80℃인 조건에 비해 100 및 120℃의 조건에서 원적외선 건조의 효과가 더욱 뚜렷하였다.

그림 6은 실험 처리별 건조기 성능평가지수

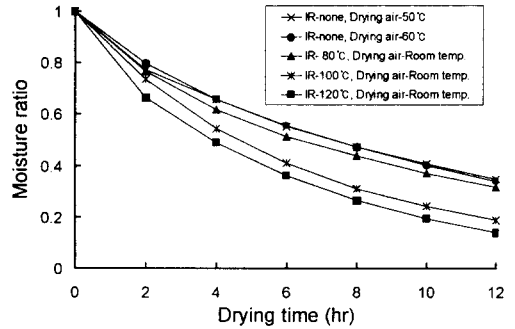


Fig. 4 Drying curves for heated-air drying and IR/heated-air combined drying of ginseng.

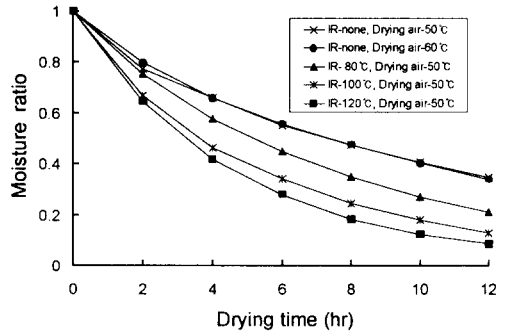


Fig. 5 Comparison of drying curves between heated-air drying and IR/heated-air combined drying of ginseng.

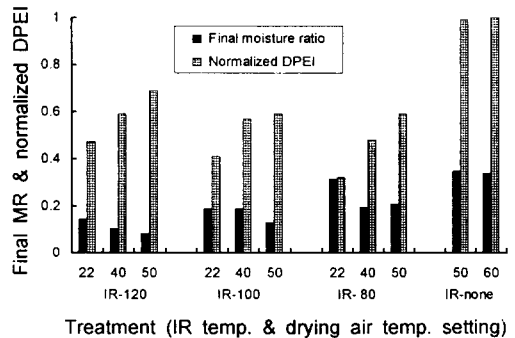


Fig. 6 Final moisture ratio and normalized dryer performance evaluation index (DPEI) for various drying conditions.

(DPEI; Dryer Performance Evaluation Index)와 최종 함수율을 나타낸 것으로서, 60℃ 열풍을 사용한 관형 열풍건조의 성능평가지수가 가장 컸으며 이를 기준으로 성능평가지수 값들을 표준화시킨 후 상대적 비교를 하였다. 동일한 온도의 열풍을 사용한 원적외선 조합건조 실험결과들 간에는 원적외선 방사판의 온도가 높을수록 건조기 성능평가지수가 커지는 추세를 보였는데, 이는 일반적인 건조과정의 경우 건조온도를 높일수록 에너지 효율 측면에서는 유리하다는 정설과는 상반된다. 그러나 그림 6의 실험결과는 피건조물의 최종 함수율이 더 낮은 건조과정일수록 건조효율은 더 낮게 계산된다는 사실에 기인한 것으로 생각된다. 즉, 동일한 총 건조시간을 갖는 원적외선 조합 건조에서는 건조공기의 온도가 유사한 경우, 방사판의 온도가 높을수록 인삼의 최종 함수율은 낮았으며 (그림 6), 이 결과는 곧바로 피건조물로부터 수분 1 kg을 제거하는데 소요된 총 에너지인 건조기 성능평가지수의 계산에 반영되었음을 알 수 있다. 따라서, 최종 함수율의 차이에 좌우되지 않는 성능평가지수의 정확한 평가를 위해 최종 함수율이 각각 0.32와 0.34로 서로 유사한 원적외선 조합 건조 (방사판 온도: 80℃, 건조공기 설정온도: 22℃)와 관형 열풍건조 (건조공기 온도 60℃)에서의 성능평가지수를 비교하면 이들 간의 비는 약 1/3로서, 전자가 후자에 비해 3배 정도 높은 건조성을 갖고 있음을 알 수 있다.

그림 7에 원적외선 방사판 온도 100℃, 건조공기 설정온도 상온의 조건에서 건조시간에 따른 함수율비와 건조 소요에너지 및 건조기 열효율의 누적값을 나타냈는데, 건조시간의 증가에 따라 함수율비는 지수함수 형태로 감소하나 건조 소요에너지와 건조기 열효율의 누적값은 거의 직선적으로 변화하였다.

그림 8은 12시간 건조실험 결과 분석에서 발견한 인삼 중심부의 평균온도 T_c (℃)와 최종 함수율비 MR_f 간의 직선적 관계를 나타낸 것으로, 이들 간의 상관관계는 아래와 같은 회귀식으로 수식화할 수 있었다. 인삼의 건조에서 피건조물 중심부의 평균온도와 최종 함수율 간에 직선적 관계가

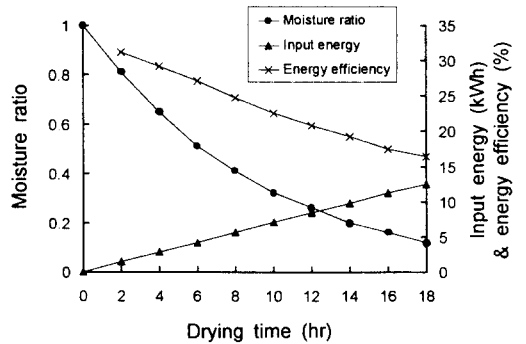


Fig. 7 Changes in moisture ratio, input energy, and energy efficiency during IR/heated-air combined drying of ginseng (IR plate temp. setting: 100℃, drying air temp. setting: 22℃).

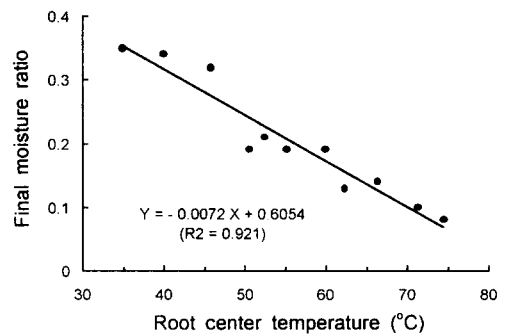


Fig. 8 Relationship between final moisture ratio and center temp. of ginseng root for both IR/heated-air combined drying and heated-air drying.

존재한다는 사실은 우선 더욱 다양한 실험조건 하에서도 이와 유사한 결과가 존재하는지 검증할 거쳐야 할 것으로 생각되지만, 최종 목표 함수율에 따른 건조기의 운전조건 수립시 하나의 유용한 자료로 이용될 수 있으리라 생각된다.

$$MR_f = -0.0072 T_c + 0.6054 \quad (R^2 = 0.921)$$

그림 9는 인삼 시료 투입량 (10편, 150편)의 차이에 따른 건조 중 인삼 중심부의 온도와 건조공기의 온도 변화를 나타낸 것이다. 인삼 시료 150

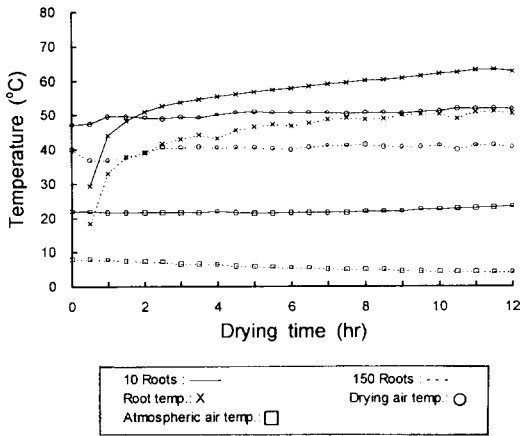


Fig. 9 Temperature changes of ginseng root and drying air during IR/heated-air combined drying for varying drying loads (IR plate temp. setting: 100°C, drying air temp. setting: 22°C).

Table 1 Dryer performance comparison for varying drying loads

Item	10 roots drying	150 roots drying
Final moisture ratio	0.19	0.26
Atmospheric air temp. (°C)	21.9	5.0
Avg. temp. of drying air (°C)	56.3	44.5
Avg. temp. of ginseng root center (°C)	55.1	46.3
Atmospheric air humidity (% RH)	83.4	80.5
Dryer exhausted air humidity (% RH)	45.8	64.7
DPEI (MJ/kg-water)	103.5	114.1
Dryer energy efficiency (%)	2.3	20.8

편 투입 실험은 12월 말 경에 이뤄져 9월에 실시된 10편 투입 실험보다 건조기 주변의 외기 온도가 약 17°C 정도 더 낮은 상태에서 실시되었고, 이로 인해 건조기 내의 건조공기 온도 및 인삼의 평균온도 역시 영향을 받게 되었다. 그림에서 보듯이 전체 건조기간 내내 건조기 내부의 건조공기 온도는 거의 일정하였지만 인삼 중심부의 온도는 건조가 진행됨에 따라 처음 2시간까지 급격히 상승하다가 이후 완만히 증가하는 추세를 보였다. 건조 초기를 제외한 나머지 구간에서 건조공기의 온도는 일정한 반면 인삼의 온도만 계속 서서히 증가하는 현상은 원적외선 복사전달열은 동일한데 반하여 건조가 진행됨에 따른 수분 증발량의 감소로 인해 수분증발잠열로 소비되는 에너지량은 감소하기 때문으로 생각된다. 또, 투입량 10편과 150편 조건에서의 인삼 중심부 온도와 건조공기 온도를 서로 비교할 때, 건조기 주변의 외기온도 차이를 감안한다면 온도변화의 경향 자체는 동일한 것으로 보여 인삼 투입량이 인삼 중심부 온도와 건조공기 온도에 미치는 영향은 미미하다고 판단된다.

표 1은 인삼 투입량에 따른 건조기의 성능을 종합하여 나타낸 표이다. 전술한 바와 같이 150편 투입 실험은 12월 말 경에 이뤄져 건조기 주위의 실내 공기온도가 약 5°C로 9월에 실시된 10편 투입 실험시에 비해 17°C 정도 더 낮았기 때문에 건조기 내의 건조공기 온도는 10편 투입시보다 12°C, 인삼의 평균온도는 9°C 정도 더 낮았다. 따라서 150편 투입의 경우, 10편 투입에 비해 건조 에너지는 20% 정도 더 소비되었지만 최종 함수율은 약간 더 높았다. 전반적으로 평가할 때 건조조건은 150편 투입시가 더 불리하였지만 건조기의 열효율은 9배 이상 높게 분석되었는데, 이는 피건조물의 적정 투입량이 건조기의 성능에 큰 영향을 미치고 있다는 것을 의미한다. 본 연구에서 개발된 인삼 건조기 시작품의 제원으로 볼 때, 최대 투입가능 인삼 편수는 중편 기준으로 1,500편 정도로 생각되며, 이 경우 건조기의 열효율은 65%

이상이 될 것으로 추정된다. 또, 건조기의 성능평가지수는 3,800 kJ/kg-water 이하로 예측되며 관행의 열풍건조와 비교한다면 2.5배 이상 높은 효율을 보일 것으로 판단되는데, 과채류를 대상으로 하는 상업용 원적외선 건조기들에 대해 보고된 값들 역시 이와 유사한 정도였음이 확인되었다 (Sandu, 1986).

본 연구의 실험조건에서 건조된 인삼의 품질변화를 판단하기 위하여 건조된 인삼의 색도를 색도계로 측정한 결과 원적외선 방사판의 온도를 120℃ 이상으로 한 조건에서 건조된 인삼의 색택은 노란색을 많이 가졌으며 시중의 1 등급 인삼과 비교하였을 때 색도값 차이가 인정되었다. 하지만 100℃ 이하의 방사판 온도조건에서 건조된 인삼은 1 등급 인삼과 비교하였을 때 색도값 차이가 인정되지 않았다.

또한 한국인삼연초연구원에 의뢰하여 인삼의 주요 성분(사포닌과 유리당)의 함량을 측정한 결과 본 실험 건조조건에서 건조된 인삼과 시중에 판매하는 1 등급 인삼, 그리고 향온항습기에서 건조한(현재 추천되고 있는 건조조건 50℃ 이하에서 건조) 인삼과의 성분 비교에서 성분 함량의 차이를 발견할 수 없었다. 이것은 인삼 시료 개개의 성분 함량의 차이가 건조조건이 낼 수 있는 차이보다 크기 때문으로 판단된다. 인삼 품질 변화에 대한 구체적인 자료는 박 등(1999)에 보고되어 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 인삼의 효율적인 건조를 위해 기존의 열풍건조 방법과 원적외선 건조방법을 조합, 사용하는 열풍과 원적외선 겸용 연속식 건조시스템의 시작품을 개발하였고 이를 이용하여 중편 크기 4년근 인삼의 건조특성을 구명하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 시작품 건조시스템에서 건조실험을 수행하여 동일한 최종 함수율비까지 인삼을 건조하였을 때, 원적외선 조합건조의 성능평가지수는 관행 열

풍건조 성능평가지수의 1/3 정도로 분석되었다.

나. 12시간 연속 건조를 하였을 때 인삼 중심부의 평균온도 (T_c)와 최종 함수율비 (MR_f)는 반비례하는 특성을 보였으며, 이들 간의 상관관계는 $MR_f = -0.0072 T_c + 0.6054$ 의 회귀식으로 수식화할 수 있었다.

다. 원적외선 조합건조 과정 중 건조기 내부의 건조공기 온도는 거의 일정하였으나 인삼의 온도는 초기 2시간까지 급격히 상승하다가 이후 완만히 증가하였다.

라. 투입 인삼량이 증가하여도 시작품 건조시스템에 의한 건조속도에는 큰 차이가 없었으나 건조기의 에너지효율은 투입량 증가에 비례하여 높아지는 경향을 보였다.

마. 본 연구에서 개발된 열풍과 원적외선 겸용 연속식 인삼 건조시스템의 경우, 최대 처리용량은 중편 기준 1,500편, 열효율은 65% 이상, 성능평가지수는 3,800 kJ/kg-water 이하로 예측되며, 관행의 열풍건조법과 비교한다면 2.5배 이상 효율이 높을 것으로 판단되었다.

바. 본 실험에서 건조된 인삼의 성분(사포닌, 유리당) 함량은 모든 건조조건에서, 색도는 원적외선 방사판 온도 100℃ 이하의 건조조건에서 시중의 1 등급 백삼과 별 차이를 보이지 않았다.

참 고 문 헌

1. 고학균, 조용진, 강석원. 1990. 고추의 건조 공정에서 적외선 건조법의 활용에 관한 연구. 한국농업기계학회지 15(3):230-243.
2. 고지훈 외. 1994. 고려인삼. 한국인삼연초연구원. 천일인쇄사.
3. 김유호, 조광환, 오성근, 조영길, 한충수. 1996. 원적외선 농산물건조기 연구 개발. 농촌진흥청 농업과학논문집 38(2):806-811.
4. 박승재, 김성민, 김명호, 김철수, 이종호. 1999. 열풍과 원적외선 겸용 연속식 건조기에서 건조된 백삼의 품질 분석. 한국농업기계학회 학술

- 대회 논문집 4(2):301-306
5. 이귀현, 강화석, 강위수. 1996. 원적외선 및 열풍건조에 의한 치커리 뿌리의 건조 특성. 한국농업기계학회 1996년 학술발표대회 논문집: 90-95.
 6. 이종철, 안대진, 변정수. 1986. 백삼 건조방법 개선 시험. 한국인삼연초연구원 보고서 (재배분야): pp. 626-638.
 7. 최병민, 이종호, 박승제. 1992. 인삼의 건조특성 구멍 및 건조모델 개발에 관한 연구. 고려인삼학회지 16(2):111-123.
 8. 한충수, 연광석, 조성찬, 최태섭, 伊藤 和彦. 1994. 원적외선 건조에 관한 연구 - 당근의 건조 특성 분석. 충북대학교 농과대학 농촌열에너지연구소 연구보고논문집 10(1):65-76.
 9. Sandu, C. 1986. Infrared radiative drying in food engineering: a process analysis. *Biotechnology Progress* 2(3):109-119.