

원적외선 및 열풍건조에 의한 치커리 뿌리의 건조 특성

Drying Characteristics of Chicory Root under Far-infrared and Hot Air Drying

이귀현*	강화석**	강위수**
정희원	정희원	정희원
G. Lee	W. S. Kang	W. Kang

1. 서론

식품의 건조에 가장 널리 이용되는 열풍건조는 열 매체로서 가열된 공기를 직접 식품에 송풍하여 대류에 의해 건조하는 방법이다. 이러한 건조방법은 대량의 식품을 건조할 수 있는 장점이 있으나 균일한 건조에 어려움이 있다. 적외선은 뜨거운 물체로부터 방사되어 적외선을 흡수하는 물체를 가열한다는 관점에서 열과 직접적으로 관계되어 진다. 전자기파의 일종인 적외선은 빛과 같은 속도로 피가열체에 흡수되면 에너지가 직접 열로 변환되고, 열전달을 위한 열 매체가 필요 없어 전열 속도가 빠른 특징을 가지고 있다. 고 강도의 에너지원으로서 적외선은 건조물에 조사될 때 단지 얇은 표층까지 침투하게 되며, 이러한 적외선의 특징으로 인해 대부분 고정층의 농산물 건조에 있어서 건조물의 층은 2cm 또는 그 이하로 제한을 받게 된다. 농산물을 건조하는데 있어 이와 같은 적외선의 단점을 보완하기 위해, Headley 와 Hall(1965)은 시료대를 진동시켜 건조물의 기계적인 유동 및 혼합을 유도하여 5cm 깊이의 옥수수를 효과적으로 건조시킬 수 있었다.

우리 나라에서의 원적외선 건조에 대한 연구는 에너지 절약뿐만 아니라 농산물의 부가가치를 높이기 위한 수단으로서 원적외선의 이용 가능성에 대한 많은 연구가 활발히 진행되고 있다. 고 추에 대한 열풍 및 적외선 건조 효과를 비교 분석한 결과 원적외선 건조가 건조시간을 단축하는데 있어 열풍건조 보다 효과적임이 고 외 4인(1989)에 의해 연구되어졌다. 또한, 양송이 및 당근의 건조시 원적외선건조가 열풍건조에 비해 건조속도가 빨랐음이 각각 한(1993)과 한 외 4인(1994)에 의해 구명되었다. 위에서와 같이 원적외선건조에 대한 많은 연구가 국내에서 진행되고 있지만 아직 농산물 개개의 건조 특성에 대한 이론 및 실험적 연구가 부족한 상태이다.

본 연구의 전체적인 목적은 우리 나라에서 커피 대용의 차로서 사용되고 있는 치커리 뿌리에 대한 건조 특성을 구명하는데 있으며, 세부 연구 목적은 다음과 같다.

- (1) 건조방법 및 건조온도가 치커리 뿌리 절편의 건조속도에 미치는 영향에 대한 조사
- (2) 치커리 뿌리 절편의 두께가 건조속도에 미치는 영향에 대한 연구
- (3) 건조방정식에 관계된 변수들 사이의 관계 조사

2. 재료 및 방법

본 연구의 실험 재료로 사용된 치커리(*Cichorium intybus* L.) 뿌리는 1995년 11월에 고랭지인 강원도 진부령에서 수확되었다. 치커리 뿌리는 수확 후 약 1개월 동안 4°C의 저온 냉장고에 저장된 후 실험재료로 사용되었다.

* 강원대학교 부설 농업과학연구소

** 강원대학교 농업기계공학과

실험에 사용된 열풍 및 원적외선 건조기 ((주)거성 아이비씨)의 구조는 모두 4각 배치식이었으며 후면에 설치된 유도 덕트에 의해 공기를 송풍공급 하는 강제 순환식이었다. 건조실내 시료대위에서의 풍속은 anemometer (Aato Keiryoki Seisakusho, Japan)에 의해 측정되었고, 0.4m/s로 고정되었다. 건조실내의 습도는 건구와 습구온도를 측정함으로써 계산되어졌다. 실험재료인 치커리 뿌리 절편을 담기 위한 tray는 철판으로 제작되었고 크기는 25 × 15 × 1.5cm였다. 건조기의 디지털 온도는 시료대위에서의 실제 실험 온도와 calibration 되었으며, 건조실험은 50, 60, 70, 80°C에서 수행되었다. 열풍 및 원적외선 건조기내의 상대습도는 건조온도 40 - 80°C에 대해 큰 차이가 없었으며, 5 - 10%의 범위에 있었다.

치커리 뿌리의 초기함수율은 40g의 시료를 80°C에서 35시간 동안 공기오븐에서 건조시킨 후 무게를 측정하여 계산되었다. 실험을 위한 치커리 뿌리는 거의 같은 크기가 정선되었으며 건조실험 3시간 전에 냉장고에서 꺼내어져 대기온도와 정상상태로 유지되었다. 치커리 뿌리의 중간부분은 3, 5, 7mm 두께의 절편으로 절단되어 시료로 사용되었다. 실험에 사용된 치커리 뿌리의 초기무게는 40g이었으며, 각 건조온도에 대한 시료의 무게변화는 정확도 0.001g의 전자저울 (FA-3000KV, Japan)을 사용하여 일정한 시간 간격마다 측정되었다. 시료의 각 건조온도에 대한 평형함수율을 계산하기 위하여 건조 후기에는 시료를 장시간 건조실에 유지시킨 후 무게 변화가 없을 때 시료의 무게를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

(1) 건조곡선

치커리 뿌리의 초기 수분함량은 283 % (db)였으며, 열풍 및 원적외선 건조시 건조온도 50, 60, 70, 80°C에서 3, 5, 7mm 두께의 뿌리 절편에 대한 건조곡선이 그림 1에 보여지고 있다. 열풍 및 원적외선건조에 대한 모든 건조온도에서 Me(평형함수율, % db)는 영에 근접하였기 때문에 함수율비(MR)의 계산에 있어 Me = 0으로 고려되었다. 그러므로, 그림 1의 건조곡선은 $MR = M/M_0$ (M = 함수율, % db, M_0 = 초기함수율, % db)과 건조시간, t (min) 사이의 관계로 나타내어졌다. 그림의 모든 건조곡선은 지수함수 형태를 보이고 있으며, 치커리 뿌리가 어떤 수분함량에 도달되까지 요구되는 건조시간은 건조온도가 높을수록 상당히 짧아짐을 알 수 있었다. 또한 시료의 두께가 얇을수록 건조속도는 매우 빨랐으며, 원적외선건조가 열풍건조에 비해 좋은 건조 효과를 보였다. 특히 건조온도 70, 80°C에서 3, 5mm 두께의 치커리 뿌리 절편의 건조시 원적외선건조가 열풍건조에 비해 매우 좋은 건조효과를 보였다. 이와 같은 박층건조시 건조방법에 따른 건조효과차이는 시료로의 열전달 메커니즘 차이 때문인 것으로 사료된다. 즉 원적외선 건조시 건조속도가 빠른 이유는 복사에너지가 열저항 없이 빠른 속도로 시료의 피층까지 침투하기 때문인 것으로 사료된다. 또한 열풍건조의 경우 건조속도가 느린 이유는 열이 공기에 의한 대류에 의해 전달되며, 시료의 표면 부근에 열경계층이 생기게 되어 시료의 피층에 열이 침투하는데 열저항을 일으키기 때문인 것으로 사료된다.

(2) 건조 모델

감율건조기간의 건조속도는 피건조물의 함수율과 건조공기에 대한 평형함수율의 차에 비례하며, 수분이동 저항이 재료의 표면에 집중되어 있다고 가정한 Newton의 냉각법칙을 상사시킨 다음과 같은 박층건조방정식이 사용될 수 있다.

$$dM/dt = -K(M - M_e)$$

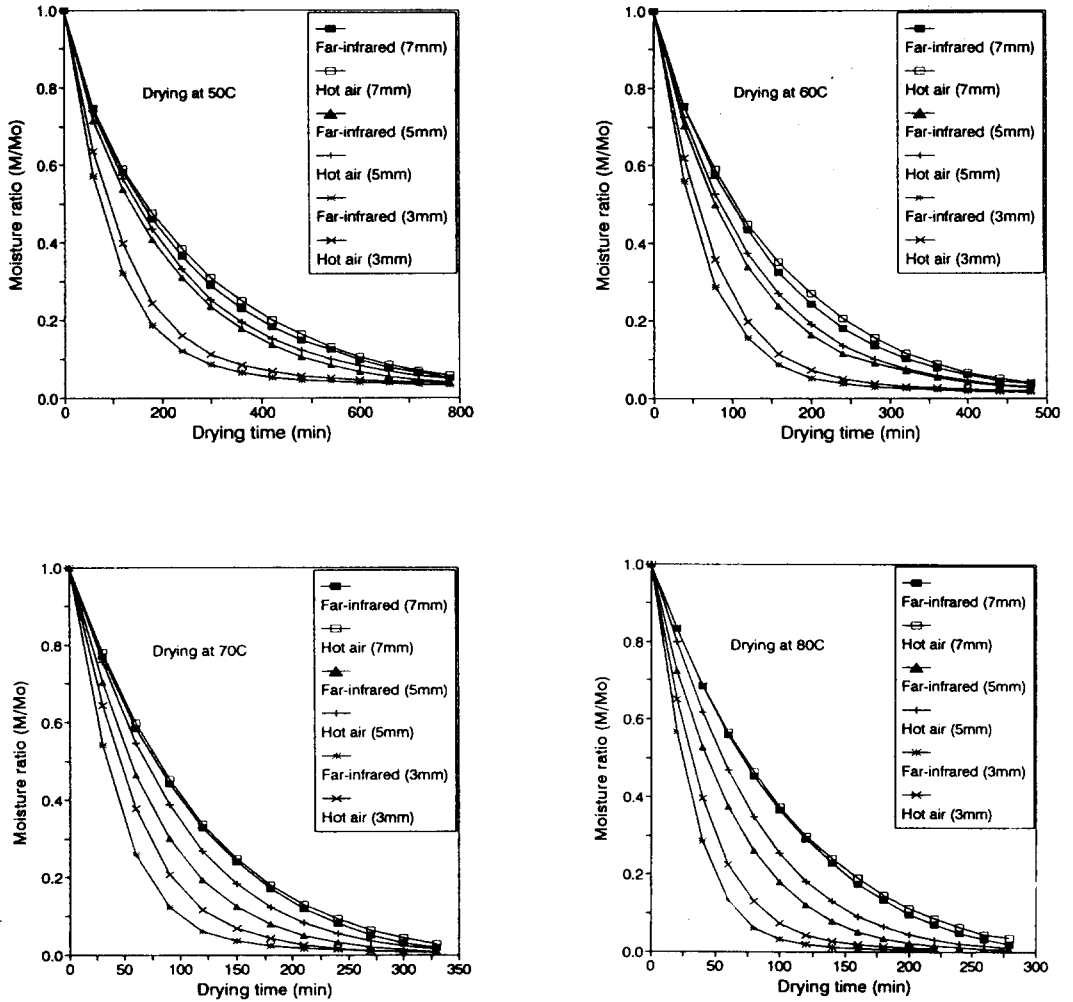


Fig. 1. Drying curves for slices of chicory root under far-infrared and hot air drying at 50, 60, 70, 80°C.

여기서, $K = \text{건조상수}(\text{hr}^{-1})$ 이며, 과일과 채소의 건조에 있어 Saravacos 와 Charm(1962)에 의해 사용된 무한 평판에 대한 위 식의 해는 다음과 같다.

$$MR = [(M-M_e)/(M_o-M_e)] = \exp(-Kt) \tag{1}$$

여기서, $MR = \text{함수율비}$ 이며, (1)식의 수정된 형태인 반 실험적 관계식은 다음과 같다(Henderson and Perry, 1976).

$$MR = [(M-Me)/(Mo-Me)] = A \exp(-Kt) \quad (2)$$

여기서, A = 상수이며, 건조상수와 수분확산계수에 대한 관계는 다음 식으로 표시된다.

$$K = [(\pi^2 D)/(4L^2)] \quad (3)$$

여기서, D = 수분확산계수 (m^2/hr), L = 피건조물 두께의 1/2 (m)

특별한 건조 조건하에서 건조상수, K와 상수, A가 회귀분석에 의해 얻어질 수 있으며, 각 두께의 치커리 뿌리 절편에 대해 얻어진 결과 결정계수, r^2 값은 0.953 - 0.999의 범위에 있었다. 약간의 오차가 야기될 수 있는 것은 수분확산계수, D가 식 (3)에서 가정된 것과 같이 일정한 상수가 아니며(Karathanos 등, 1990), 건조상수, K가 피건조물의 수분함량에 따라 변화할 수 있기 때문이다. 그러므로 여기에 주어진 K 값은 연구된 시료의 수분함량 범위에서 평균건조 특성을 설명하는데 사용될 수 있을 것이다.

감울건조기간 동안 각 두께의 치커리 뿌리 절편에 대한 건조상수, K는 건조방법 및 건조온도, T에 의해 큰 영향을 받는다. 그러므로 열풍 및 원적외선건조에 대한 건조상수는 그림 2에 보여진 것과 같이 온도가 증가함에 따라 지수함수적으로 증가한다. 즉 감울건조기간 동안의 건조는 수분확산에 직접 관계되며, 식 (3)과 같이 건조온도에 의해 영향을 받는 수분확산계수, D는 직접적으로 건조상수, K와 관계되기 때문이다. 그러므로 K와 T의 관계는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$K = ae^{bT} \quad (4)$$

열풍 및 원적외선건조에 있어 치커리 뿌리 절편에 대한 건조상수, K와 건조온도, T에 대한 자료를 회귀분석하여 얻어진 상수값 a, b 및 결정계수, r^2 값이 표 1에 보여지고 있다.

Table 1. The relationship between drying constant, K and drying temperature, T for slices of chicory root ($K = ae^{bT}$)

Drying methods	Slice thickness (mm)	Constant a	Constant b	r^2
Far-infrared	3	7.694	0.04461	1.000
	5	2.998	0.05356	0.974
	7	4.670	0.04385	0.935
Hot air	3	7.880	0.04304	0.990
	5	3.513	0.04968	0.973
	7	5.302	0.04068	0.924

감을 건조기간 동안 치커리 뿌리의 건조율은 절편의 두께에 따라 크게 다르며, 그러므로 건조 상수, K 또한 절편의 두께에 큰 영향을 받는다. 즉 그림 2에서 보여진 것과 같이 치커리 뿌리 절편의 두께가 증가할 수록 K의 값은 증가한다. 그림 3은 열풍 및 원격외선건조에 대한 각 건조온도에서 K와 $1/L^2$ 의 관계를 보여주고 있으며, 식 (3)으로부터 예측될 수 있는 것과 같이 다음의 선형 관계가 형성된다.

$$K \propto (1/L^2) \quad (5)$$

여기서 L은 건조 초기의 치커리 뿌리 절편의 1/2 두께이며, 실제로는 건조 동안에 상당한 두께의 감소가 관측되었다. 그러므로 식 (5)에서 건조 초기의 두께에 대한 값을 사용하는 것은 식품건조에 대한 문헌에서 자주 사용되는 대략적인 문제 접근 방법이다(Vaccarezza와 Chirife, 1975).

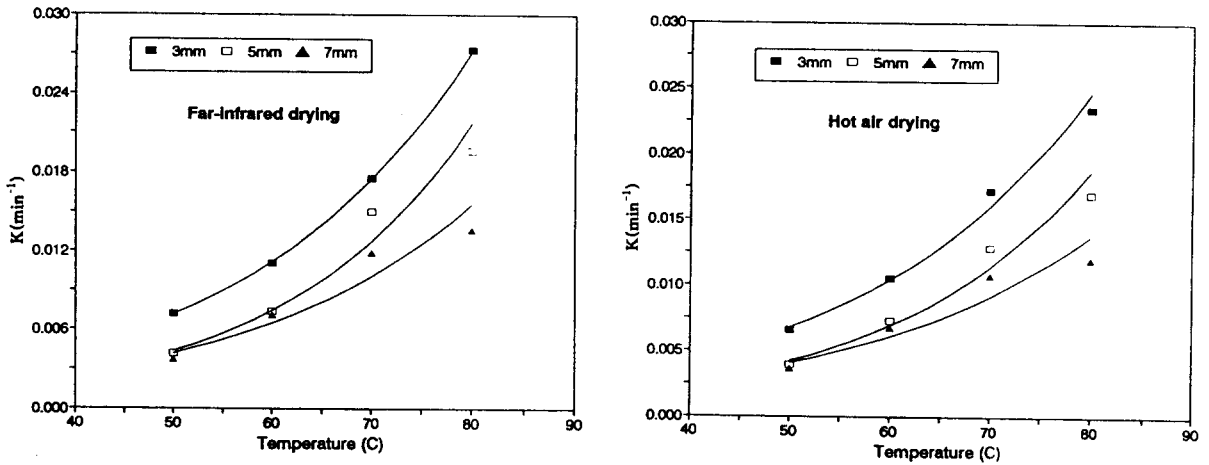


Fig. 2. The relationships between the drying constant, K and drying temperature, T for slices of chicory root under far-infrared and hot air drying.

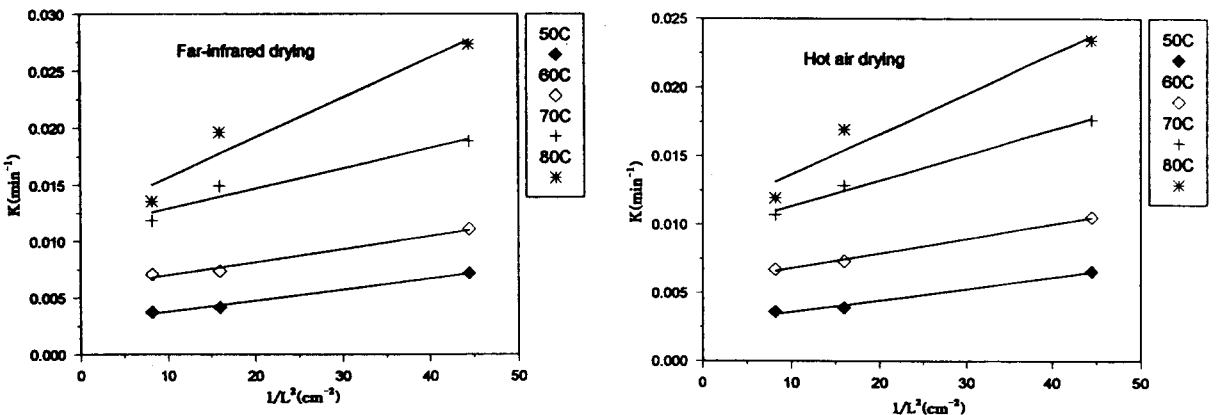


Fig. 3. The relationships between the drying constant, K and the thickness of chicory root slices under far-infrared and hot air drying.

4. 요약 및 결론

본 연구는 우리 나라에서 커피 대용의 차로서 사용되고 있는 치커리 뿌리에 대한 건조특성을 구명 하고자 하였으며, 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 열풍 및 원적외선건조시 치커리 뿌리가 어떤 수분함량에 도달되기까지 요구되는 건조시간은 건조온도가 높을수록 상당히 짧아짐을 알 수 있었다.
- (2) 치커리 뿌리 건조의 경우 시료의 두께가 얇을수록 건조속도는 상당히 빨랐으며, 원적외선건조가 열풍건조에 비해 좋은 건조 효과를 보였다. 특히 70, 80°C의 건조온도하에서 3, 5mm 두께의 치커리 뿌리 절편의 건조시 원적외선건조가 열풍건조에 비해 좋은 건조효과를 보였다.
- (3) 감율건조기간 동안 치커리 뿌리 절편에 대한 건조상수, K는 건조방법 및 건조온도, T에 의해 큰 영향을 받으며, 열풍 및 원적외선건조에 대한 건조상수는 온도가 증가함에 따라 지수함수적으로 증가했다.
- (4) 감율건조기간 동안 치커리 뿌리 절편의 건조에 있어 건조상수, K 는 $1/L^2$ 에 비례한다.

5. 참고문헌

1. 고태균, 조용진, 박재복, 김용현, 강석원. 1989. 건고추의 재건조 공정에서 에너지의 효율적이용. - 열풍 대류 및 적외선 복사 건조 -. 한국농업기계학회지 14(4):262-271.
2. 한충수. 1993. 원적외선 건조에 의한 양송이의 건조특성. 협동조합연구 제 14 집
3. 한충수, 영광석, 조성찬, 최태섭, 伊藤和彦. 1994. 원적외선 건조에 관한 연구. - 당근의 건조특성 분석 -. 농촌열에너지 연구보고논문집 10(1):65-76.
4. Headley, V. E. and C. W. Hall. 1965. An equation and dimensionless parameters describing infrared vibration drying. *Trans. of the ASAE*. 520-523.
5. Henderson, S. M. and R. L. Perry. 1976. *Agricultural Process Engineering*. AVI Publishing Co., Inc., Westport, CT.
6. Karathanos, V. T., G. Villalobos, and G. D. Saravacos. 1990. Comparison of two methods of estimation of the effective moisture diffusivity from drying data. *J. of Food Science* 55(1):218-223.
7. Saravacos, C. D. and S. E. Charm. 1962. A study of the mechanism of fruit and vegetable dehydration. *Food Technology* 16:78-81.
8. Vaccarezza, L. M. and J. Chirife, 1975. On the mechanism of moisture transport during air drying of sugar beet root. *J. of food Science* 40:1286-1289.