

터널건조기를 이용한 가공용 고추의 건조 특성

강정문 · 고태균 · 송대빈 · 박재복*
서울대학교 농업생명과학대학 농공학과
*한국식품개발연구원

Drying Characteristics of Red Pepper in Tunnel Dryer

Jeong-Moon Kang, Hak-kyun Koh, Dae-Bin Song and Jae-Bok Park*
Department of Agricultural Engineering, College of Agriculture
and Life Science, Seoul National University
*Korean Food Research Institute

Abstract

To reduce the cost and labor in red pepper drying, a tunnel type dryer with large capacity was constructed in this study. For comparing the drying speed, three types of pre-treated red pepper(whole, punched, cut) were used in drying experiment. The drying speeds of cut and punched red pepper were 2~2.5 times and 1.5~2 times faster than that of whole red pepper, respectively. A brightness and redness of red pepper were increased as decreasing the drying temperature and reducing the drying time with the same drying temperature. In the case of pre-treated red pepper drying a drying cost of tunnel type dryer was lower than that of batch dryer but higher in the case of whole one drying.

Key words: drying, red pepper, tunnel dryer, pre-treatment

서 론

우리 나라에서 고추는 대부분 수확후 생고추를 원형상태로 건조시킨 후 유통되고 있으며 건조방법은 크게 생산능가 단위로 소유하고 있는 소형 배치식 화력 건조기를 사용하여 건조를 하는 방법과 1차 고온건조 후 2차로 비닐하우스에서 태양열을 이용하여 건조하는 방법으로 구분된다. 그러나 두 방법 모두 대형화와 자동화에는 한계가 있고 대형화를 하여도 여전히 많은 노동력과 건조비용이 드는 문제점이 있다. 우리나라 농가에서 사용하고 있는 고추건조기는 모두 소형 배치식 화력 건조기로서 고추생물 수용량은 300~1000 kg에 불과하다. 건조고추의 생산 원가 중 건조비용은 전체의 약20~25%를 차지하고 있으며 수확시 필요한 노동력과 건조 처리량은 농가당 고추 생산 가능량에 큰 영향을 미치고 있다.

식품으로서의 고추의 품질의 3대 요소는 색상, 매운 성분 및 당으로 간주되는데 이와 같은 요소들은 건조

과정을 거치면서 변화되어 고추의 품질을 변화시킨다. 건조로 인한 고추의 품질변화는 식품영양학적 측면과 상품의 가치 측면에서 대단히 중요한 것으로 인식되고 있으며, 특히 고추는 조미식품으로 주로 소비되기 때문에 여러 가지 화학적 성분 중에서도 매운 맛을 내는 신미성분(capsaicinoid)과 캡산신(capsanthin)과 같은 색소 성분의 변화가 큰 관심의 대상이 되어 왔다.

김공환과 전재근(1975)은 고추를 열풍 건조할 때 건조 온도 및 건조 방법이 고추의 품질에 미치는 영향을 분석하기 위하여 고추의 적색성분인 캡산신의 함량과 신미성분인 캡사이신의 함량을 분석한 결과, 건조 온도는 캡산신의 함량에 영향을 주어 온도가 높을수록 캡산신의 함량이 감소 되었으나 캡사이신의 함량에는 별 영향을 주지 않았다고 보고하였다. 한편 고추를 절단하여 건조하였을 때는 원형 건조에 비해 캡산신의 함량은 높게 나타났으나 캡사이신의 함량은 20~30% 낮게 나타났다고 보고하였다.

고태균 등(1987)은 건조 중 건조 조건의 변화가 고추의 건조시간 및 품질에 미치는 영향을 연구한 결과 건조 조건을 초기에 65°C로 3시간 유지한 후 55°C,

Corresponding author: Jeong-Moon Kang, Dept. of Agricultural Engng. College of Agriculture and Life Sciences, S.N.U., 103 Seodun-dong, Kwonsun-Gu, Suwon 441-744, Korea

20% RH로 변화하여 3시간 건조한 후 55°C, 20% RH에서 건조를 완료하는 것이 고추의 품질이 가장 좋았으며 75°C 이상의 고온에서 장기간 건조할 경우 품질 저하의 우려가 있다고 보고하였다.

조용진(1991)은 고추의 건조과정 모형화 및 최적화에 관한 연구를 수행하여 품종 및 기타 요인에 의한 건조 특성의 상이성이 고추의 과피의 두께와 밀접한 관계가 있으며, 고추는 흡습성 통기성 물질의 건조 특성을 가진다고 보고 하였다. 그리고 임의의 고추에 대한 건조 모델을 개발하였는데 범용의 원형 고추에 대해 예측치와 실측치가 잘 일치하여 적용성이 높아 많이 이용되고 있으며 함수율 모형과 온도 모형을 이용하여 고추의 건조과정을 여러 가지 조건하에서 모의 실험 하여 건조에 소요되는 에너지 및 시간을 최적화 하여 건조시간과 소요에너지가 비례함을 밝혔다.

조용진(1993)은 고추 과피의 천공률이 건조에 미치는 영향을 연구하여 고추 과피의 천공율이 증가할수록 고추의 건조속도가 증가하고 건조시간 단축으로 인하여 품질 저하가 억제된다는 결과를 얻었다. 신현희와 이서래(1991)는 국내산 고추의 품종 및 재배 지역에 따른 한국산 고추의 매운맛 성분, 붉은 색상, 크기 및 무게에 대한 조사를 하였으며 품종에 따른 건조고추의 길이는 7.0~9.4 cm, 무게는 1.22~3.09 g, capsaicin 함량은 11.5~45.0 mg%, dihydrocapsaicin 함량은 8.5~35.1 mg%, 붉은색은 6,270~7,920 conventional color unit로 나타냈으며 태양건조와 열풍건조를 한 경우 매운 맛 성분의 차이는 없었으나 붉은 색에서 차이를 나타냈다고 보고하였다.

현재 전국의 고추 주산지 중심으로 운영되고 있는 대단위 고춧가루 가공공장이 앞으로 더욱 확대되기 위해서는 양질의 충분한 가공용 고추원료의 확보가 필요한데 대량 처리 능력을 갖춘 생산 건조 시스템이 없어서 어려운 실정이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 건조 비용 및 노동력을 절감하고 양질의 건조 원료를 생산할 수 있는 대량 자동화 건조 시스템의 개발이 절실하게 필요하다. 터널건조기는 대량 건조처리가 가능하고 생고추의 세척, 전처리, 투입, 건조 후 처리 까지 자동화가 가능한 장점이 있다. 터널건조기가 대형 건조시스템으로서 실용화되기 위해서는 건조시간과 품질 그리고 건조비용의 세 가지 요건을 모두 만족시켜야한다.

따라서 본 연구는 터널건조기의 적용가능성을 알아보기 위해 수행되었으며 구체적인 목적은 다음과 같다.

① 전처리 방법 및 건조온도에 따른 건조 특성과 건조시간을 구명한다.

② 색상을 이용하여 건조조건에 따른 건조 후 품질을 분석한다.

③ 에너지 소모량을 통하여 건조비용을 분석한다.

재료 및 방법

재료 및 전처리

건조실험에 사용한 고추는 충북 괴산에서 생산된 영웅 품종의 고추로 산지에서 수확된 후 다음날 도착한 고추를 대상으로 물성실험을 실시하였다. 수확 직후 생고추의 함수율을 알아보기 위하여 원형의 고추 30개를 표본으로 취하여 10개 씩 나누어 오븐(oven)에 넣어 90°C 온도에서 24시간 동안 건조시켰다. 초기 함수율은 83~85% (wb)로 다소의 차이가 있었는데 평균 함수율은 84.05% (wb)였다.

생고추 원료의 전처리 방법에 따른 건조특성을 구명하기 위하여 원료의 전처리 조건을 원형(whole), 천공(punched), 절단(cut)의 3가지로 구분하였다. 원형시료는 산지에서 운반하여 온 생고추를 그대로 이용하였고, 천공시료는 고추표면 천공장치를 제작하여 고추 표면에 직경 2 mm 크기의 구멍을 2 cm 간격으로 뚫었다. 보통 고추 1개당 15개소의 구멍이 형성되었다. 절단시료는 원형의 생고추를 가위를 이용하여 길이방향으로 3등분 절단하였다.

건조실험 장치

본 실험에서는 대량 자동화 건조 시스템의 기본 모델로서 터널건조기로 설정하고 Fig. 1과 같은 건조 시스템을 제작하였다. 이 건조기의 크기는 폭 1.0 m, 높이 1.8 m, 길이 4.0 m이고 주요 장치로 가스버너, 송풍팬, 건조상자, 건조상자 운반용 트럭, 온도센서 및 자료수집장치(data logger) 등으로 구성되어 있다.

가스버너는 LPG를 열원으로 쓰는 직접 분사식으로

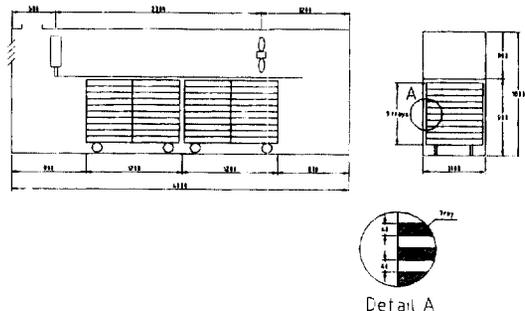


Fig. 1. Layout of the tunnel dryer.

하고 용량이 100,000 kcal/hr(최소 34,500~최대 137,500 kcal/hr)이며, 설정온도에 따라 ON/OFF 제어되는 방식을 취하였다. 건조기 내부가 고온인 관계로 1.5 kW의 VS모터를 건조기 밖에 설치하여 벨트로 연결하여 송풍팬을 구동하였고 최대 송풍량은 60 m³/min이다. 건조실 내부의 크기는 90(폭)×90(높이)×240(길이)cm이고 내부에 90(폭)×90(높이)×120(길이)cm의 트럭이 2개 들어갈 수 있게 하였다. 건조상자는 900×600×40 mm 크기의 다공판으로 건조기 내에 최대 40개를 넣을 수 있도록 하였고 상자 사이의 간격은 4 cm과 6 cm의 두 종류를 제작하였는데 실험에 사용한 것은 간격이 6 cm인 것을 사용했다. 그리고 건조실험은 21개의 건조상자에 3 kg씩 고추시료를 박층으로 담아 1회 수용량이 60 kg이 되도록 했다.

자료수집 및 측정

온도센서는 써미스터(thermister)를 사용하여 건습구 온도를 동시에 측정하였고, 자료수집장치에서 5초마다 읽어들이어 평균한 값을 30초마다 저장하였다. 열풍이 들어가는 입구에서는 높이에 따른 풍속의 편차가 심하고 다른 부분들과의 차이도 커서 첫번째 열의 건조상자는 제외하였다. 또한 시간에 따른 함수율의 변화를 알아보기 위하여 건조실내 7개의 위치에 18×20×3 cm 크기의 시료상자를 두고 30분마다 무게를 측정하였다. 이 무게 변화량을 이용하여 함수율 변화를 계산하였으며 또한 무게변화를 측정하기 위한 7개의 시료와 동일한 위치에 온도센서를 설치하여 건습구 온도를 측정하였고 5초 간격으로 읽어들이어 6회 평균한 값을 30초마다 저장하였다.

본 실험에서는 절단한 고추와 천공한 고추에 대해 건조실 내부로 들어가는 공기의 건조온도를 70°C, 80°C, 90°C로 보정하여 건조실험을 실시하였고, 원형 고추에 대해서는 80°C의 건조온도에 대해서만 건조실험을 하였다. 이 실험에서는 첫 번째 열의 건조상자에

있는 시료의 함수율이 150~200%db가 되었을 때 열풍의 진행방향에 대해 앞뒤로 1회 건조상자의 위치를 서로 바꾸어 전체적으로 균일하게 건조되도록 하였다. 고추를 건조하는 동안 배기구에는 완전히 열어 놓아 30% 정도의 공기는 빠져나가고 나머지 공기는 재순환되게 하였다.

건조실험 후 각 전처리 방법과 건조온도에 대해서 건조 소요시간과 품질, 에너지 소모를 분석하였다. 건조 소요시간은 함수율이 15%wb(17%db)이하로 떨어질 때까지의 시간으로 하였고 에너지 소모는 LPG의 소모량을 가지고 계산하였다. 건조된 고추의 품질평가 방법으로는 건조 후 고추의 표면색도와 고춧가루(30 mesh)로 제분한 색도를 분석하였는데 색도계(spectrophotometer)를 이용하여 L, a, b 값을 측정하였다.

결과 및 고찰

건조 특성

원형고추와 천공 및 절단된 고추에 대해 건조온도에 따른 건조시간과 에너지 소요량 및 최종함수율을 분석하였다. Table 2는 전처리 방법들(원형, 천공, 절단)과 건조온도(70°C, 80°C, 90°C)에 따른 건조시간과 에너지 소모량 및 최종 함수율을 나타낸 것이며 최종 함수율은 가운데 높이에 있는 3위치에서의 평균값으로 하였다.

Fig. 2는 절단고추를 80°C 건조온도에서 건조했을 때의 건조곡선이고 Fig. 3은 이때의 건습구 온도의 분포를 나타낸 것이다. Fig. 2에서 알 수 있는 바와 같이 바람의 진행 방향에 따라 건조 속도의 차이가 나타나는데 그 원인은 주로 건조상자 사이를 지나가는 공기의 속도구배 때문인 것으로 생각된다. 풍속은 가운데 높이의 건조상자 사이에서 열풍의 진행방향에 따라 1.5 m/s, 1.2 m/s, 0.8 m/s로 차이가 났다. 이는 건조상자 사

Table 2. Drying time, energy consumption and final moisture content for fresh red pepper with various pre-treatments and drying temperatures

| Pre-treatment | Drying temp. (°C) | Drying time (min) | Energy consump. (kg) | Final MC (% db) |
|---------------|-------------------|-------------------|----------------------|-----------------|
| Whole | 80 | 720 | 12.3 | 20.90 |
| | 70 | 540 | 7.8 | 20.60 |
| Punched | 80 | 480 | 7.9 | 14.97 |
| | 90 | 360 | 8.2 | 18.91 |
| | 70 | 480 | 6.5 | 19.00 |
| Cut | 80 | 360 | 7.5 | 12.60 |
| | 90 | 300 | 7.2 | 10.88 |

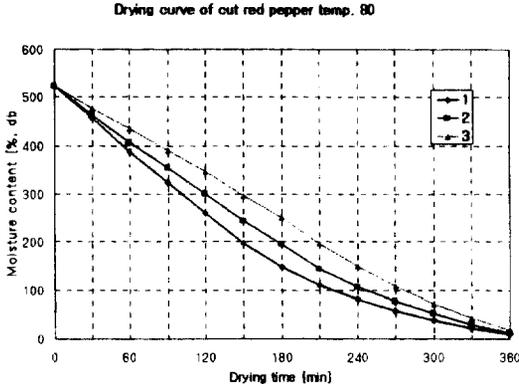


Fig. 2. Drying curves of cut red pepper with various positions at temperature of 80°C.

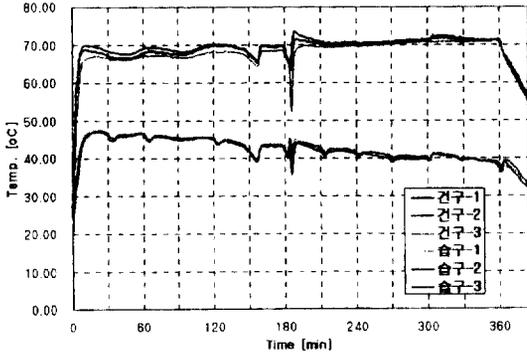


Fig. 3. Temperature and relative humidity distribution of cut pepper with various positions at temperature of 80°C.

이의 공간에 비해 벽면이나 천장, 바닥 부분과 건조상자 사이의 공간이 상대적으로 넓어 바람이 진행하면서 송풍저항이 적은 쪽으로 집중되는 현상 때문에 나타난 결과라고 사료된다. 열풍이 건조상자 사이를 이동하면서 고추의 증발 잠열로 인하여 빼앗기는 열은 Fig. 3에 나타난 온도분포를 살펴볼 때 위치에 따른 온도차는 2~3°C에 불과하므로 상대적으로 적다는 것을 알 수 있다. 이 문제를 해결하기 위해서는 건조 공기를 다른 곳으로 새어 나가지 않게 하고 건조상자 사이로만 균일하게 빠져나가게 한 다음 풍량을 충분히 가한다면 전체적으로 균일한 건조 속도를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

Fig. 4와 5는 절단고추를 80°C에서 건조할 때 상하 높이에 따른 함수율 변화를 나타낸 것이다. 송풍팬에서 가까운 쪽에서는 원심력으로 인하여 아래쪽의 풍속이 커지는 현상 때문에 하층의 건조속도가 빠르게 나타나고 있으며 출구 쪽에서는 하층의 건조속도가

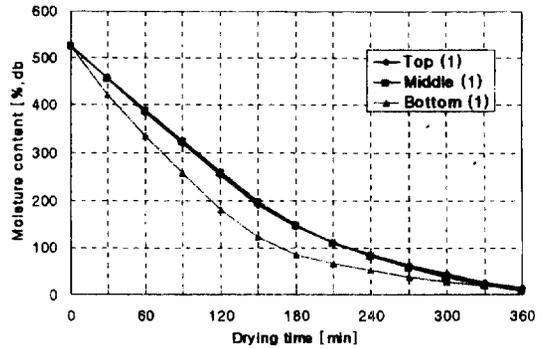


Fig. 4. Drying curves of cut red pepper with various heights at temperature of 80°C.

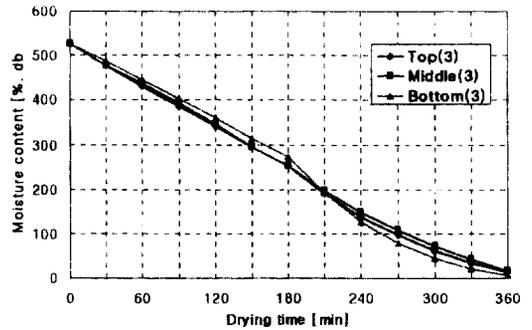


Fig. 5. Drying curves of cut red pepper with various heights at temperature of 80°C.

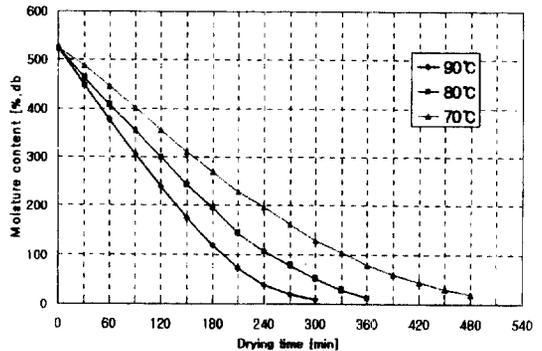


Fig. 6. Drying curves of cut red pepper with various drying temperatures.

다소 느리게 나타나고 있다. Fig. 6은 절단고추에 대해 건조온도에 따른 건조곡선을 비교하여 나타내었고 Fig. 7에서는 80°C 건조온도에서 전처리 방법에 따른 건조곡선을 나타내었다.

건조실험 결과 생고추를 3등분으로 절단하여 건조했을 때의 건조속도는 원형의 고추를 건조한 것보다 2~2.5배, 천공한 고추보다는 1.4~1.6배 빠른 것으로 나

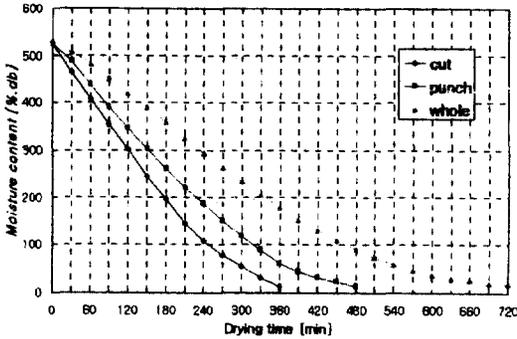


Fig. 7. Drying curves of red pepper with various pre-treatments at temp. of 80°C.

타났다.

전처리 방법 및 건조온도에 따른 품질

건조 후 고추의 품질은 크게 색상과 맛에 의해 결정된다고 할 수 있다. 매운 맛은 캡사이신의 함량에 따라 결정되고 색상은 붉은 정도를 나타내는 a 값과 밝은 정도를 나타내는 L 값으로 판별할 수 있다. 지난해에 수행했던 예비실험 결과 같은 품종에 대해 신미 성분은 전처리 방법이나 건조 온도에 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타나 본 실험에서는 색상만을 가지고 품질을 분석하였다. 고추는 고온에서 건조할수록 그

리고 건조시간이 길어질수록 색상이 검어지는데 건조시간을 단축시키고 좋은 색상을 얻기 위하여 여러 전처리 방법들을 비교하여 분석하였다.

Table 3에서는 전처리 방법 및 건조온도에 따른 색도를 건조 후 건조고추 시료의 표면을 대상으로 측정된 값과 30 mesh의 입자 크기로 제분하여 측정된 값을 나타내었다. 건조고추를 제분하여 색도를 측정할 때 꼭지와 씨는 제외하고 과피만 제분하여 색도를 측정하였다. Table 3의 결과들은 전처리 방법 및 온도에 따라 3개의 표본을 채취하여 그 결과들을 평균하여 나타낸 것이다. 건조된 고추의 표면색도와 고춧가루로 제분한 색도를 비교해 보면 고온일수록 색도차가 크게 나타나는데 이는 고온일 경우 건조시간이 짧기 때문에 고온에 직접 노출되어도 표면은 색깔 변화가 쉽게 일어나지만 고추 내부는 색깔의 변화가 적다고 판단된다.

에너지 소모량 및 건조 비용

현재 농가에서 사용하는 배치건조기는 열원으로 경유를 사용하고, 열교환기를 통해 더워진 공기를 송풍시키는 방식을 취하고 있다. 그러나 본 실험에서는 LPG를 원료로 하여 공기를 가열하여 직접 송풍시키는 방식을 취하여 열효율을 높이하고자 하였다. Table 4에서는 배치건조기와 본 실험에서 사용한 터널건조

Table 3. Color values of the surface of dried red pepper and powered red pepper

| Pre-treatment | Drying temp. (°C) | Color of dried red pepper | | | Color of powered red pepper | | |
|---------------|-------------------|---------------------------|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|
| | | L | a | b | L | a | b |
| Whole | Sun drying | 30.30 | 14.45 | 6.79 | 36.94 | 26.74 | 25.09 |
| | 80 (Tunnel) | 27.36 | 8.45 | 3.88 | 34.55 | 22.02 | 21.50 |
| | Batch dryer | - | - | - | 33.84 | 21.84 | 19.94 |
| Punched | 70 | 29.41 | 19.11 | 8.12 | 34.21 | 24.80 | 20.61 |
| | 80 | 29.62 | 15.89 | 7.87 | 34.74 | 23.87 | 22.07 |
| | 90 | 27.58 | 9.64 | 5.26 | 33.88 | 21.70 | 19.68 |
| Cut | 70 | 34.81 | 24.32 | 11.25 | 35.96 | 26.93 | 23.22 |
| | 80 | 33.53 | 20.32 | 9.10 | 36.76 | 25.99 | 23.95 |
| | 90 | 31.72 | 15.74 | 6.17 | 36.08 | 25.55 | 24.16 |
| Fresh | - | 19.43 | 14.84 | 12.87 | - | - | - |

Table 4. Energy efficiency and drying cost

| | | Capacity (kg) | Drying time | Fuel consumption | Energy efficiency | Drying cost (won/10 kg-H ₂ O) |
|--------------|-------|---------------|-------------|------------------|----------------------------|--|
| Batch dryer | Min | 440 | 30 hr | 4.7 l/hr | 2.18 kg-H ₂ O/l | 1559 |
| | Max | 570 | 35 hr | 4.7 l/hr | 2.43 kg-H ₂ O/l | 1402 |
| Tunnel dryer | Cut | 60 | 6 hr | 1.25 kg/hr | 5.6 kg-H ₂ O/kg | 1071 |
| | Punch | 60 | 8 hr | 1.1 kg/hr | 4.8 kg-H ₂ O/kg | 1250 |
| | Whole | 60 | 12 hr | 1.0 kg/hr | 3.5 kg-H ₂ O/kg | 1714 |

(LPG 600원/kg, 경유 340원/l)

기를 대상으로 하여 에너지 소모량과 비용을 비교해 보았다. 배치건조기에 대한 자료는 신흥기업에서 고추건조용으로 제작된 1평형의 배치건조기에 대해 농촌진흥청 농기계 시험 검사 자료를 이용하였다. 터널 건조기의 경우 각 전처리 방법에 대해 80°C의 건조온도를 기준으로 하였다. 건조비용은 단위시간당 에너지소모량에 LPG와 경유의 에너지 비용을 곱하여 계산하였는데 수분 10 kg을 증발시키기 위한 에너지의 비용을 기준으로 나타내었다.

LPG를 이용한 터널건조기의 건조비용을 배치건조기의 건조비용과 비교해 볼 때 터널건조기에서 절단 고추를 건조할 때는 배치건조기에 비해 24~31%의 비용이 절감되고 천공고추를 건조할 때는 11~20%의 비용이 절감되며 원형의 고추를 건조할 때는 10~22%의 건조비용이 더 소요되는 것으로 나타났다.

요 약

본 연구는 국내 고추의 주산지 중심으로 대단위 가공용 고추의 건조 시스템을 개발하기 위한 것으로 LPG를 원료로 하는 터널건조기를 제작하여 실험하였고 그 결과를 분석하였다. 대형 건조 시스템으로서 실용화되기 위해서는 건조시간, 품질, 건조비용의 세 가지 요건이 만족되어야 하는데 적합한 건조조건을 찾기 위해 고추의 전처리 방법과 건조온도를 달리하여 실험을 수행하였다.

고추의 건조특성은 전처리 방법과 건조온도 및 송풍량에 의해 결정되어지며 건조온도가 높을수록 건조속도가 빨라지며 전처리한 고추가 원형의 고추보다 건조속도가 빠르게 나타났다. 생고추를 3등분으로 절

단하여 건조했을 때 원형고추를 건조한 것보다 2~2.5배, 천공 처리한 고추를 건조했을 때에는 1.5~2배 정도 빠른 것으로 나타났다.

색도계를 이용하여 색상을 분석한 결과 밝은 정도를 나타내는 L값과 붉은 정도를 나타내는 a값은 건조온도가 낮을수록 높게 나타났으며 같은 건조온도에서는 절단 및 천공 처리하여 건조시간이 짧을수록 높게 나타났다. 특히 절단 등의 전처리한 고추의 경우 고온에서 건조했을 때 표면색도는 낮게 나타나지만 고춧가루의 색도는 높게 나타나 고온에서 건조해도 건조시간이 짧을 경우 고추 내부의 색상 변화는 적은 것으로 판단된다. 그리고 LPG를 이용한 터널건조기와 배치건조기의 건조비용을 비교해 볼 때, 터널건조기에서 절단고추를 건조할 때는 배치건조기에 비해 24~31%의 비용이 절감되고 천공고추를 건조할 때는 11~20%의 비용이 절감되며, 원형고추를 건조할 때는 10~22%의 건조비용이 더 소요되는 것으로 나타났다.

참고문헌

- 김공환, 전재근. 1975. 고추의 열풍건조가 품질에 미치는 영향. 한국식품과학회지 7(2)
- 고학균, 조용진, 이원석. 1987. 건조 조건의 변화가 고추의 건조 시간과 품질에 미치는 영향에 관한 연구. 서울대학교 농학연구 12(1).
- 조용진. 1991. 고추의 건조과정 모형화 및 최적화에 관한 연구. 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- 고학균 외 6인. 1990. 농산가공기계학. 향문사.
- 신현희, 이서래. 1991. 한국산 고추의 품종 및 재배 지역에 따른 품질 특성. 한국식품과학회지 23(3).
- 조용진. 1993. 고추 과피의 천공률이 건조에 미치는 영향. 한국농업기계학회지 18(3).