

탄화로 폐열 건조기를 이용한 표고버섯의 건조특성 분석

이귀현^{1*}, 김남훈², 권성민², 권구중²

(¹강원대학교 농업생명과학대학, ²강원대학교 산림환경과학대학)

1. 서론

농산물 가공산업은 농산물의 가격지지, 수급조절, 농외소득원 개발을 통한 농가 소득증대와 고부가가치 상품화 수출 등 농업, 농촌의 장기발전을 위하여 매우 중요한 산업이다. 특히 WTO의 뉴라운드 협상 등 시장개방이 가속화됨에 따라 가공을 통한 고부가가치 상품화로 농산물의 경쟁력을 높여야 할 필요성이 절실해 지고 있다. 농산물을 가공하여 제품으로 제조 시 건조공정은 필수적인 공정이다. 특히 농산물은 수확 후 건조방법에 따라 품질에 상당한 영향을 미치는 것으로 보고되고 있으며 품질향상을 위해 원적외선 건조, 마이크로파 건조, 제습건조 등 첨단 원리를 도입한 첨단 건조기들이 속속 개발되어 시범 보급되고 있다.

현재 농가에서 생산되는 농산물의 경우 대부분 산지에서 일차적으로 햇볕에 널어 말리는 재래식 건조방식이 아직도 일반화 되어있으며 건조기를 사용하는 농가에서는 석유 에너지를 이용한 열풍건조기를 많이 사용하고 있다. 그러나 우리나라에서는 건조 에너지의 대부분을 태양열과 석유 에너지에 의존하고 있으나, 그 중에서 유효하게 이용되어지는 에너지는 전환 및 수송 등의 손실로 낭비되어 50%도 못 미치고 손실로 낭비되어지고 있다. 따라서 새로운 에너지의 개발도 중요한 과제이지만, 불필요하게 낭비되어지고 있는 폐 에너지의 유효 이용이야말로 우선적으로 해결 되어져야 할 과제이다. 그동안 농업에너지 절약을 위해 폐열을 농산업에 이용하기 위한 연구가 수행되어져 왔으며, 기 수행된 폐열이용 연구로 보일러나 건조기 등의 버려지는 폐열공기를 이용하여 농산물을 건조시키는 폐열이용 건조기도 개발된 바 있다(Chun et al., 2000; Park et al., 2000).

따라서 본 연구에서는 농·임산물의 농가 건조시 에너지절약을 위한 유류 대체용으로 열원이 풍부한 탄화로의 폐열 이용 건조기를 사용하여 표고버섯의 건조특성을 규명하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 실험방법

탄화로 폐열건조기를 이용한 건조특성 분석을 위해 표고버섯(*Lentinus edodes*)을 강원도 홍천 농가에서 수확한 것을 구입하여 건조실험에 사용하였다. 탄화로 폐열건조기는 탄화로의 벽면 상부 둘레에 엑셀 파이프가 밀착 설치되어 있어 탄화과정에서 발생하는 폐열과 엑셀파이프 내부를 흐르는 유체 간의 열 교환을 통해 얻어진 고온의 유체를 건조실의 열교환기로 순환시켜 발생하는 열을 건조장치의 열원으로 이용하여 농·임산물을 건조하는 장치로 구성되어 있다.

실험재료의 초기함수율을 측정하기 위해 일정량의 무게를 건조오븐(VS-1202D3, Vision scientific co., Ltd, Korea)에서 80℃로 48시간 건조한 후 데시케이터에서 30분간 둔 후 중량 비를 계산하여 건조기준함수율로 나타내었다. 표고버섯은 건조기 내부 온도를 40℃, 50℃, 60℃, 70℃로 설정하여 평형함수율에 도달할 때까지 건조하였다. 각 건조온도별 정해진 시간마다 정확도 0.001 g의 전자저울(FA300KV, A&D company, Japan)을 사용하여 시료의 무게를 측정하여 함수율비로 표시하였다.

2.2 건조모델

피 건조물의 건조속도를 나타내는 방정식을 건조모델이라고 하며, 박층건조모델은 항률건조모델과 감률건조모델로 구분하여 나타낸다. 그 중 감률건조모델의 건조속도는 피 건조물 내부의 수분이동속도에 영향을 받으며 농산물이나 식품 내부의 수분이동은 농도 차에 의한 수분확산에 의한 것으로 알려져 있다. 따라서 감률건조기간의 건조속도는 다음과 같은 식 (1)의 수분확산방정식으로 표시

된다.

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 M}{\partial r^2} + \frac{C}{r} \frac{\partial M}{\partial r} \right) \quad (1)$$

식에서, M: 피 건조물 내부의 임의지점의 건량기준함수율(kg-수분/kg-건물), t: 건조시간(hr), D: 수분확산계수(m²/hr), r: 피 건조물 중심으로 부터의 거리(m), C: 피 건조물의 모양에 따라 결정되는 상수이며, 식 (2)의 초기 및 경계조건은 다음과 같다.

$$M(r, 0) = M_0, M(r_0, t) = M_e \quad (2)$$

식에서 r₀: 무한원통과 구의 경우에는 반경이고 무한평판의 경우에는 두께의 1/2, M₀: 건량기준 초기 함수율, M_e: 건량기준 평균함수율이고, 식 (3)의 해를 구하여 함수율로 표시하면 식 (4)와 같다.

$$\frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(-\frac{\pi^2(2n+1)^2}{r_0^2} D t\right) \quad (3)$$

식에서 (M - M_e)/(M₀ - M_e): 함수율 비(MR), 앞의 식에서 건조시간 t가 증가함에 따라 둘째 항 이상의 값은 대단히 적어지므로 첫째 항만이 유효한 항이 된다. 따라서 앞의 식을 간단화하면 다음의 식 (4)와 같으며 Lewis model이라 하고 감율건조모델로 많이 이용된다(Henderson and Perry, 1976; Lee et al., 2004). 식 (4)의 A는 피건조물의 모양에 따른 상수이고, K는 건조상수로 이들 값은 박층 건조실험에 의해 결정된다.

$$MR = A \exp(-Kt) \quad (4)$$

3. 결과 및 고찰

표고버섯의 초기 함수율은 87.3%(w.b.)로 나타났으며, 평형함수율(equilibrium moisture content; EMC), 총 건조시간(drying time), 반 건조시간(half drying time)은 아래의 표 1과 같다. 건조온도가 높을수록 평형함수율은 낮아지고 전체적인 건조시간 및 반 건조시간은 짧아지는 것으로 나타났다. 대체적으로 건조온도가 40℃에서 60℃까지 범위에서 10℃ 증가함에 따라 반 건조시간은 약 1/3정도 단축되는 것으로 나타났으나, 건조온도가 60℃에서 70℃로 증가함에 따라 반 건조시간은 약 1/2 짧아지는 것으로 나타났다.

Table 1. Equilibrium moisture content, drying time, and half drying time of agricultural products

Drying temperature (°C)	EMC (d.b.)	Half drying time (MR = 0.5)(min)	Drying time (min)
40	6.7%	250	1560
50	5.7%	180	1200
60	3.9%	110	720
70	3.6%	60	420

표고버섯의 건조곡선을 그림 1에 나타내었으며, 표고버섯은 건조온도가 높을수록 함수율 비

(Moisture ratio; MR)의 기울기가 증가하는 것으로 나타났다. 함수율 비가 0에 접근하는 건조시간은 각 건조온도 40, 50, 60, 70°C에서 1,560, 1,200, 720, 420분으로 나타나 건조온도가 높을수록 건조속도가 매우 빨라짐을 알 수 있다.

Lewis model인 식 (4)를 적용하여 건조온도 변화에 따른 A, K의 값을 회귀분석하여 표 2에 나타내었다. 결정계수(r^2)가 0.99 이상으로 건조곡선이 지수함수로 잘 표현됨을 알 수 있다.

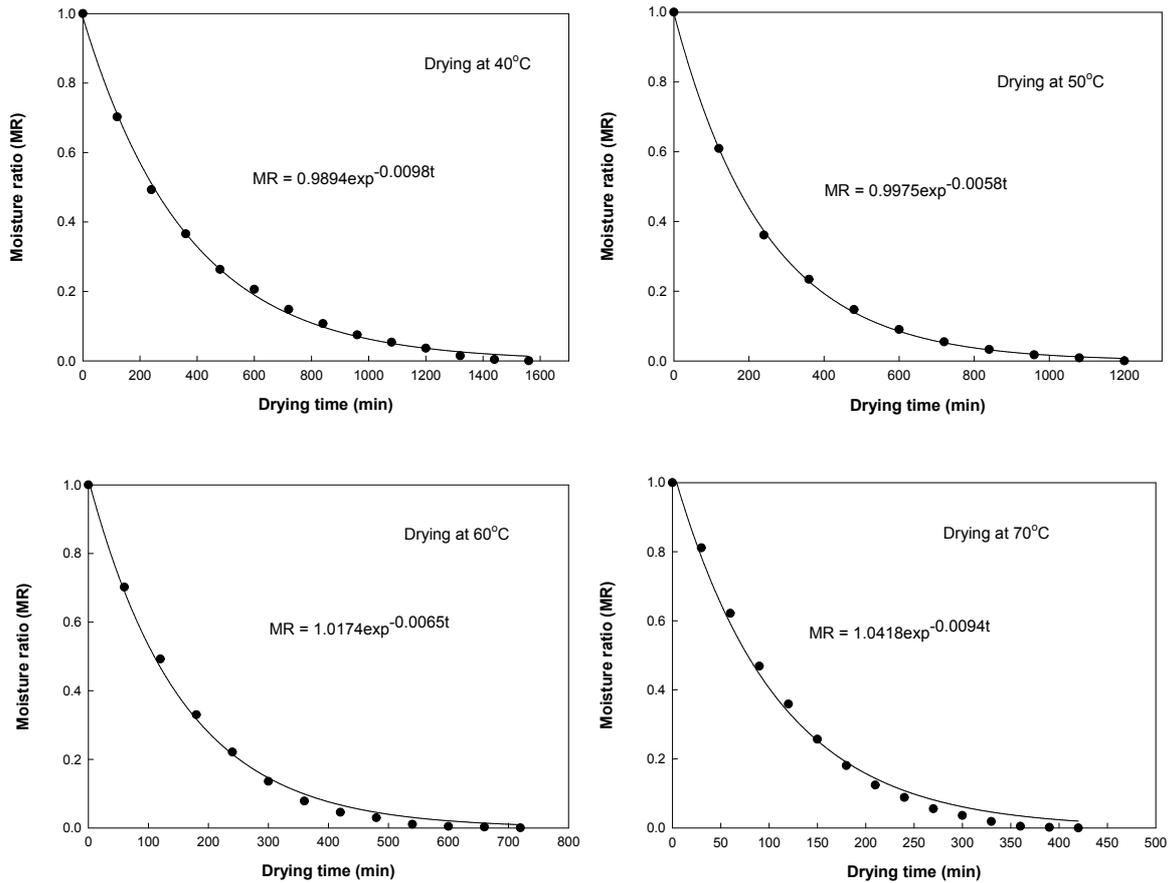


Fig. 1. Drying curves of pyogo mushroom.

Table 2. Values of A, K, and r^2 according to drying temperature.

Drying temperature (°C)	A	K	r^2
40	0.9894	0.0098	0.9986
50	0.9975	0.0058	0.9996
60	1.0174	0.0065	0.9971
70	1.0418	0.0094	0.9935

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 탄화로 폐열 건조기를 사용하여 표고버섯의 건조특성을 분석하였다. 그 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 표고버섯은 건조온도가 높을수록 평형함수율은 낮아지고 전체적인 건조시간 및 반 건조시간은 짧아지는 것으로 나타났다. 대체적으로 건조온도가 40°C에서 60°C까지 범위에서 10°C 증가함에

따라 반 건조시간은 약 1/3정도 단축되는 것으로 나타났으나, 건조온도가 60℃에서 70℃로 증가함에 따라 반 건조시간은 약 1/2 짧아지는 것으로 나타났다.

나. 표고버섯은 건조온도가 높을수록 함수율 비(MR)의 기울기가 증가하는 것으로 나타났다. 함수율 비가 0에 접근하는 건조시간은 각 건조온도 40, 50, 60, 70℃에서 1,560, 1,200, 720, 420분으로 나타나 건조온도가 높을수록 건조속도가 매우 빨라짐을 알 수 있다.

다. 건조곡선을 회귀분석한 결과 결정계수(r^2)가 0.99 이상으로 건조곡선이 지수함수로 잘 표현됨을 알 수 있다.

사사

본 연구는 산림청 ‘산림과학기술개발사업(과제번호 : S120910L070110)’ 지원에 의해 수행되었음.

참고문헌

1. Chun, W. P., K. W. Lee, K. H. Park, K. G. Lee and H. Kim. 2000. Energy conservation effects in drying process reusing exhaust gas. Proceedings of the KSEE 2000 fall conference: 215-220. (In Korean)
2. Henderson, S. M. and R. L. Perry. 1976. Agricultural Process Engineering. AVI Publishing Co., Inc., Westport, CT.
3. Lee, G. H, W. S. Kang and F. Hsieh. 2004. Thin-layer drying characteristics of chicory root slices. Transactions of the ASAE 47(5):1619-1624
4. Park, K. H., K. W. Lee, J. T. Park, K. J. Lee and S. K. Lim. 2000. Waste heat recovery by heat pipe heat exchanger in spray dryer. Proceedings of the KSEE 2000 fall conference:193-198. (In Korean)