

능이버섯의 건조 방정식

Drying Equations of Sarcodon Aspratus

금동혁	노정근	정태영	홍성렬	박기문	김 훈	한재웅
정회원	정회원				정회원	정회원
D. H. Keum	J. G. Ro	T. Y. Jung	S. R. Hong	K. M. Park	H. Kim	J. W. Han

ABSTRACT

This study was performed to determine drying equations of sarcodon aspratus. Drying tests for sarcodon aspratus were conducted in an experimental dryer equipped with an air conditioning unit. The drying tests were performed at three air temperatures of 30°C, 40°C and 50°C, and two relative humidities of 30% and 50%. Measured moisture ratio data were fitted with the selected four drying models(Page, Thompson, Lewis and simplified diffusion models) using stepwise multiple regression analysis.

When the coefficients of determination and root mean square errors of moisture ratio were evaluated for four drying models, the Page model was found to fit adequately to all the drying test data with coefficient of determination of 0.9996 and RMSE of 0.00523.

Keywords : Sarcodon aspratus, Drying model.

1. 서 론

최근 국내에서는 천연물질로부터 추출한 생리활성 물질을 함유한 기능성 식품 등에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 특히, 국내에 서식하는 버섯류는 외국에 비해 자원이 풍부하고 다양하여 채집되어 식용이 가능하나 아직 대중화되지 않은 버섯류를 중심으로 항암성 등을 확인하여 생활 습관병의 예방 및 치료가 가능한 생리활성 소재로 개발하는 연구가 활발히 이루어지고 있다.

능이버섯(*Sarcodon aspratus*)은 보통 갓의 지름이 7 ~ 25cm, 높이는 7 ~ 20cm로 처음에는 편평형이나 후에 갈매기형 또는 나팔꽃형이 되고, 중앙부는 깊게 파여있다. 갓 표면은 거칠고 처음에는 담홍갈색이나 차차 흑

갈색이 되고, 조직은 담홍색이다. 여름에서 가을에 주로 활엽수림내 활물기생하는 버섯으로 살아 있는 식물체로부터 생장하는데 필요한 양분을 공급받아 상호 공존하는 공생균으로 현재까지 인공재배법이 개발되지 않아 야생종을 채취하여 이용하고 있다. 능이버섯은 강한 향기가 나는 버섯으로 향버섯으로 불리어지고 있으며, 강한 향기로 인하여 생식으로는 식용되지 않고, 건조한 후 가열하여 식용되고 있으며, 육류를 먹고 체했을 때 소화제로도 이용되고 있다.

최근에는 능이버섯에서 동맥경화증예방 성분 및 항암 물질 등을 추출하여 질병의 예방 및 치료제로 사용 가능한 생리활성물질에 대한 연구가 전 세계적으로 진행되고 있다.

능이버섯을 식용, 질병의 예방 및 치료제로 사용하기

This work was supported by Korea Research Foundation grant.(KRF-2001-005-G00005). This article was submitted for publication in July 2003; reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in 2003. The authors are D. H. Keum, Professor, Dept of Bio-Mechatronic Engineering, Sungkyunkwan University, J.G. Ro, Research Professor, the Institute of life science and technology, Sungkyunkwan University, T. Y. Jung and S. R. Hong, Professor, Dept of Genetics Engineering, Sungkyunkwan University, K. M. Park, Professor, Dep't of Food and Life Science, Sungkyunkwan University, H. Kim, Researcher, KFRI, Songnam, Korea, J. U. Han, Graduate student, Dept of Bio-Mechatronic Engineering, Sungkyunkwan University, Korea, The corresponding author is D. H. Keum, Professor, Dep't of Bio-Mechatronic Engineering, SungkyunKwan University, Suwon, 440-746, Korea. E-mail : <dhkeum@yurim.skku.ac.kr>

위해서는 적정한 수분으로 건조를 수행하여야 한다. 능이버섯은 높은 수분을 함유하고 있어 자연건조를 이용할 경우 갈변현상, 맛과 향의 손실, 주요성분의 손실 및 부패 등을 초래하므로 열풍건조를 이용하여야 한다. 또한 열풍 건조 시 버섯의 품질(색상)과 기능성 물질이 건조과정과 조건에 따라 예민하게 변하기 때문에 건조과정 제어를 위해 건조 방정식의 개발이 필요하다. 그러나, 능이버섯에 대한 열풍건조와 관련한 연구는 전무한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 건조온도 3수준, 상대습도 2수준에 대하여 건조속도를 측정하고, 농산물 건조모델로 많이 이용되고 있는 4 개의 건조방정식에 대하여 적합성을 검정하여 능이버섯의 건조방정식을 개발하는데 목적이 있다.

2. 연구사

건조모델에 관한 연구로는 Lewis⁷⁾(1921)의 Newton 냉각법칙을 이용한 건조모델, Page⁸⁾(1949)의 옥수수 박층 건조실험에 적용한 모델, Henderson⁶⁾(1952)의 수분확산법칙 해에 기초한 건조 모델, Thompson¹⁰⁾(1967)의 건조모델 등이 이용되고 있으며, 이들 모델들은 각각 다음과 같다.

Page모델 :

$$MR = \exp(-P \cdot t_0^Q) \dots\dots\dots (1)$$

Thompson모델 :

$$t = A \cdot \ln(MR) + B \cdot (\ln MR)^2 \dots\dots\dots (2)$$

Lewis모델 :

$$MR = \exp(-k_1 \cdot t) \dots\dots\dots (3)$$

축소수분확산모델:

$$MR = A \exp(-k_2 \cdot t) \dots\dots\dots (4)$$

여기서, MR은 함수율비(dec), t_0 와 t 는 건조시간(min, hr), A, B, k_1, k_2, P, Q : 실험상수이다.

Syarief⁹⁾(1984)는 해바라기씨 건조 실험에 Lewis, Page, Thompson 모델을 적용하였으며, 최⁴⁾(1992)는 인삼의 평형함수율 및 건조모델에 Thompson모델, 박³⁾(1993)은 벼와 보리의 박층 건조모델에 Henderson, Lewis, Page 모델을 적용하였다. 박²⁾ 등(1996)은 마이크로 컴퓨

터 제어장치를 이용한 표고버섯의 열풍건조 특성에 관한 연구에서 표고버섯의 열풍건조 중 수분이동은 Page 모델을 따랐다고 보고하였다. 금¹⁾(2002) 등은 표고버섯의 건조 모델로 Henderson, Lewis, Page 및 Tomson 모델 중 Page 모델이 가장 적합한 것으로 보고하였다.

3. 재료 및 방법

가. 공시재료

본 연구에 사용한 능이버섯은 강원도산으로 함수율을 유지시키기 위해 구입 즉시 밀봉 포장하였으며, 동결 후 -4℃의 저온저장고에서 3개월 저장하였다. 실험을 위해 해동하여 1일 동안 실내에 방치해 두어 버섯의 내부온도와 실내온도가 평형이 되도록 한 후 건조 실험을 실시하였다. 초기 함수율은 66.9%, 평균무게는 60~70g, 색상은 흑갈색으로 변화하였다.

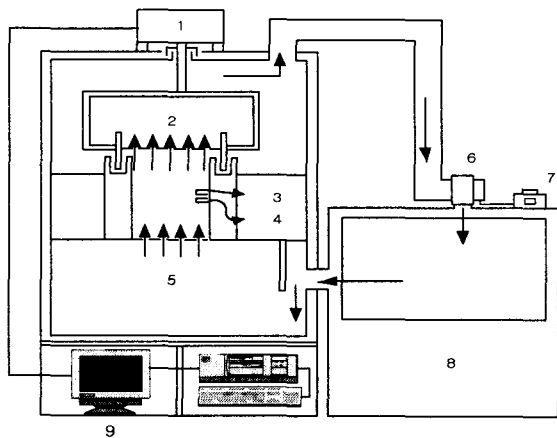
나. 실험 방법

그림 1은 건조실험에 사용된 장치의 개략도를 나타낸 것이다. 실험장치는 공기조화장치, 송풍장치, 건조실, 송풍관, 배기관, 무게측정장치 및 데이터 저장장치 등으로 구성되었다. 공기조화장치는 건구온도 -45~105℃, 상대습도 0~99% 범위의 공기를 발생할 수 있으며, 오차는 온도 ±0.3℃, 상대습도 ±2.5%이다. 건조실 내의 풍속은 시료상자 밑에서 마노메타(Kanomax, Model : 6141, 정밀도 : 0.1m/s)를 이용하여 측정하였으며, 1.5m/s로 나타났다. 건조실에 시료상자를 설치하였으며, 건조실 하부에는 다공판을 설치하여 공기의 유속분포가 균일하도록 설계하였다. 또한, 측정시에는 시령과 시료가 공기에 의한 부력의 영향을 받지 않도록 하기 위해 건조실로 유입되는 공기를 1분간 차단하여 건조실 공기가 안정된 후 시료무게가 측정 되도록 하였다. 시료의 무게 변화는 시료상자와 연결된 전자저울(Satorius, Model : L420P, 정밀도 : 0.001g)과 자료 수집장치에 의하여 연속적으로 측정하였다. 시료상자는 원통형(직경 : 28.5 cm)으로 제작하였으며, 시료층을 통과하는 공기가 시료층 이외의 다른 통로로 유출되는 것을 방지하기 위하여 시료상자를 2중 원통 사이에 놓이게 하였다.

건조온도는 30℃, 40℃, 50℃의 3수준으로 하고, 상대

습도는 30%, 50%의 2수준으로 하였다. 유속은 1.5 m/s를 유지하였다. 실험 시작 1일 전에 시료를 꺼내 시료의 온도가 실내온도와 평형을 유지하게 한 후 무작위로 능이버섯 60~70g을 취하여 시료상자에 담아 건조실에 설치하여 무게변화를 측정하였다.

시료의 무게변화는 자료 수집장치를 통하여 컴퓨터에 연속적으로 기록하고, 오차를 줄이기 위하여 측정값을 1초 간격으로 1분 동안 수집된 자료의 평균을 기록하였다.



1. Electronic balance 2. Sample tray 3. Temperature sensor 5. Plenum chamber 6. Turbo fan 7. Fan speed controller 8. Drying chamber 9. PC

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus for the drying test.

4. 결과 및 고찰

가. 건조곡선

능이버섯은 초기 함수율이 60~90%의 고함수율을 가진 농산물이다. 자연 건조를 수행 할 경우는 15~25°C의 건조온도에서 함수율이 약 10~15% 정도가 될 때까지 48~72 시간이 소요된다. 본 실험의 건조시간은 15시간까지로 하였으며, 평균값을 분석자료로 사용하였다. 그림 2~3은 각각 상대습도 30% 및 50%일 때 건조온도별 함수율비 변화를 나타낸 건조곡선이며, 표 1은 건조 조건별로 반감시간(함수율비가 0.5에 도달하는 시간)을 나타낸 것이다.

건조곡선과 표 1에서와 같이 건조속도의 지표가 되

는 반감시간은 상대 습도가 30%이고 건조온도가 30°C, 40°C, 50°C일 때 온도가 높을수록 반감시간이 단축되지만, 40°C와 50°C에서는 차이가 없는 것으로 나타났다. 상대 습도가 50%이고 건조온도가 30°C, 40°C, 50°C인 경우는 온도가 높을수록 반감시간이 크게 단축되지만 40°C와 50°C에서는 반감시간의 차이가 아주 적으므로 나타났다.

건조온도가 일정한 경우 상대습도가 건조속도에 미치는 영향은 온도가 30°C에서는 1.25배로 크게 나타났지만, 40°C와 50°C에서는 각각 1.1배, 1.0배로 온도가 높을수록 상대습도가 건조속도에 미치는 영향은 감소하였다.

표고버섯의 건조곡선¹⁾과 유사한 조건에서 비교하면 표고버섯의 건조온도 35°C 상대습도 30%인 경우 반감시간은 3.1 hr이고, 능이버섯은 건조온도 30°C 상대습도 30%일 때 1.2 hr로 반감시간이 1.9 hr 단축되었으며, 표고버섯의 건조온도 35°C 상대습도 50%에서 반감시간은 4.5 hr이고 능이버섯은 건조온도 30°C 상대습도 50% 일 때 1.5 hr로 반감시간이 3.0 hr 단축되었다. 이것은 표고버섯에 비해 능이버섯의 건조 시간이 빠르다는 것을 나타내주는 것이다.

이상의 결과를 종합하면, 풍속 1.5m/s에서 건조공기의 건조온도가 낮을 때는 상대습도가 높을수록 건조속도에 미치는 영향이 크지만, 건조온도가 높을 때는 상대습도가 건조속도에 미치는 영향은 감소하였다.

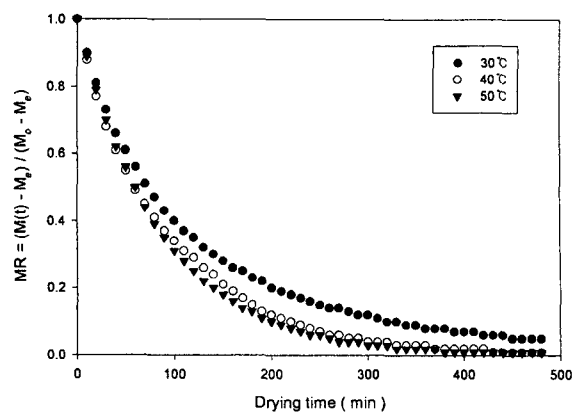


Fig. 2 Drying curves of sarcodon aspratus for drying air temperatures of 30°C, 40°C and 50°C respectively at relative humidity of 30%.

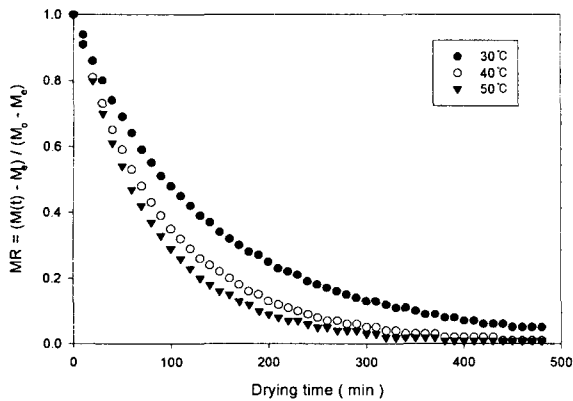


Fig. 3 Drying curves of sarcodon aspratus for drying air temperatures of 30°C, 40°C and 50°C respectively at relative humidity of 50%.

Table 1 Comparison of half response times by drying air conditions

Drying air temperature (°C)	Half response time(hr)	
	RH 30(%)	RH 50(%)
30	1.2	1.5
40	1.0	1.1
50	1.0	1.0

나. 건조모델

함수율비의 실험치를 모델에 적합시켜 실험상수를 결정하기 위하여 건조모델을 선형화하고 SAS의 회귀 분석 프로그램을 이용하여 실험상수를 결정하였다. 건조 모델의 실험상수는 건조온도와 상대습도의 함수로 가정하고 다음 식 (5)로 설정하였다.

$$\text{실험 상수} = a_0 + a_1(T_0) + a_2(RH_0) + a_3(T_0)^2 + a_4(T_0 \cdot RH_0) \dots\dots\dots (5)$$

여기서, a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 : 실험상수, T_0 : 건조온도(°C), RH_0 : 상대습도(dec)

식 (5)에서 변수들의 조합은 SAS의 PROC STEPWISE를 이용하여 선정하였다. 함수율비의 실험치와 Page, Thompson, Lewis 및 Henderson 모델을 적합시켜 실험

상수를 결정하였으며, 그 결과는 식 (6)~(12)와 같다.

Page모델 :

$$P = 0.07238 - 0.0121(T_0) - 0.13382(RH_0) + 0.00272(T_0 \cdot RH_0) \dots\dots (6)$$

$$Q = -0.04837 + 0.02747(T_0) + 1.37717(RH_0) - 0.00014(T_0)^2 - 0.02698(T_0 \cdot RH_0) \dots\dots (7)$$

Thompson모델 :

$$A = 0.07631 - 9.74344(RH_0) - 0.00067(T_0)^2 + 0.21147(T_0 \cdot RH_0) \dots\dots (8)$$

$$B = 3.31695 - 0.11813(T_0) - 3.239(RH_0) + 0.00102(T_0)^2 + 0.07013(T_0 \cdot RH_0) \dots\dots (9)$$

Lewis모델 :

$$k_1 = -0.16067 + 0.04092(T_0) - 1.24783(RH_0) - 0.00049(T_0)^2 + 0.02788(T_0 \cdot RH_0) \dots\dots (10)$$

축소수분확산모델 :

$$A = 0.61568 + 0.00855(T_0) + 10.55817(RH_0) - 0.0000265(T_0)^2 - 0.01(T_0 \cdot RH_0) \dots\dots (11)$$

$$k_2 = -0.68402 + 0.05194(T_0) - 0.03233(RH_0) - 0.00047525(T_0)^2 \dots\dots (12)$$

각 건조모델의 적합성을 검증하기 위하여 함수율비의 전체 실험치와 예측치 간의 결정계수(R^2)과 RMSE를 표 2에 나타내었다.

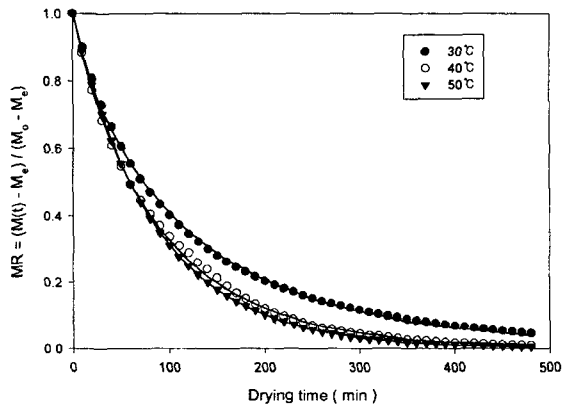
Table 2 Comparison of R^2 and RMSE of moisture ratio for 4 different drying models

Models	R^2	RMSE
Page	0.9996	0.00523
Thompson	0.9995	0.01952
Lewis	0.9987	0.01191
Henderson	0.9975	0.01246

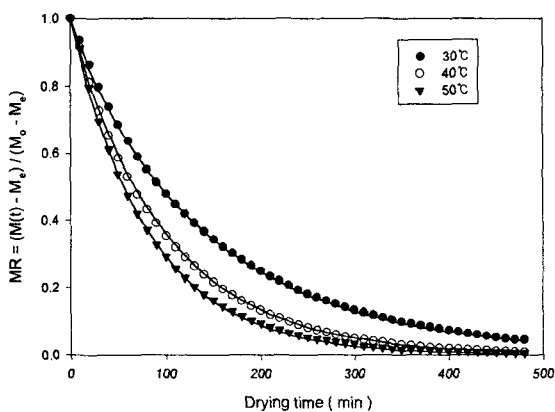
표 2와 같이 4모델의 결정 계수와 RMSE 차이는 크지 않았다. 이것은 시료를 동결 보관 후 해동하여 실험함으로써 초기 함수율에 영향을 미쳐 나타난 현상으로 사료된다. 4개의 모델 중 Page의 건조모델이 결정계수 0.9996로 가장 높게 나타났으며, RMSE는 0.00523으로 가장 낮은 값을 나타내었다. 따라서 Page 모델이 능이버섯의 건조모델로 가장 적합한 것으로 판단되었다.

다. 실험치와 예측치 비교

그림 4는 상대습도 30% 및 50%에서 건조온도별 함수율의 실험치와 Page 모델에 의한 예측치를 비교한



(a) Relative humidity 30%



(b) Relative humidity 50%

Fig. 4 Comparison of measured and predicted moisture ratio by Page model.

것이다. 그림에서와 같이 전체 건조온도와 상대습도 영역에서 실험치와 예측치는 매우 잘 일치하는 것으로 나타났다.

5. 요약 및 결론

본 연구는 능이버섯의 건조모델을 개발하기 위하여 수행되었다. 건조실험은 온도 3수준(30°C, 40°C, 50°C), 상대습도 2수준(30%, 50%)에서 수행하였으며, 경시적인 함수율비의 변화를 측정하였다. 건조속도는 기존의 4개의 건조모델에 적합시켜 우수 모델을 결정하였으며, 그 결과 능이버섯의 건조모델로는 Page, Thompson, Lewis, Henderson 모델의 오차 수준이 모두 사용 가능한 범위이었으나, 그 중에서도 Page 모델이 가장 적합한 것으로 나타났다. Page 모델의 결정계수(R^2)는 0.9996 이고, RMSE는 0.00523이었다.

참 고 문 헌

1. 금동혁, 김 훈, 홍남운. 2002. 곡류 및 버섯류의 평형함수율 및 박층건조 방정식에 관한 연구(II) - 표고버섯에 대하여 -. 한국농업기계학회지. 27(3):219-226.
2. 박재덕, 강현아, 장규섭. 1996. 마이크로 컴퓨터 제어장치를 이용한 표고버섯의 열풍건조 특성. 한국식품과학회지. 28(1):72-76.
3. 박춘우. 1993. 벼와 보리의 박층건조방정식에 관한 연구. 성균관대학교 농업기계공학과 석사학위논문.
4. 최병민. 1992. 인삼의 평형함수율 및 건조모델. 전북대학교 농공학과 박사학위논문.
5. Greenspan, L. 1977. Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions. Journal of Research. National Bureau of Standard. 81A:89.
6. Henderson, S. M. 1952. A basic concept of equilibrium moisture. Agr. Eng.33:29-31.
7. Lewis, W. K. 1921. The rate of drying of solid materials. Ind. Engng. Chem. 13:427-432.
8. Page, C. 1949. Factors influencing the maximum rate

- of drying shelled corn in layers. M. S. Thesis, Purdue University, W. Lafayette, IN.
9. Syarif, A. M., R. V. Morey and R. J. Gustafson. 1984. Thin-layer drying rates of sunflower Seed. Trans. of the ASAE 27(1):195-200.
10. Thompson, T. L. 1967. Predicted performances and optimal designs of convection grain dryers. Unpublished Ph.D. thesis, Purdue Univ., West Lafayette, IN.