

마이크로 컴퓨터 제어장치를 이용한 표고버섯의 열풍건조 특성

박재덕 · 강현아 · 장규섭

충남대학교 식품공학과

Hot Air Drying Characteristics of Oak Mushroom (*Lentinus edodes*) by Microcomputer Control System

Jae-Deok Park, Hyun-Ah Kang and Kyu-Seob Chang

Department of Food Science and Technology, Chungnam National University

Abstract

Hot air drying of *Lentinus edodes* was studied using the microcomputer drying system that can control the drying parameters such as air temperature, relative humidity and a weight-loss of water. The physico-chemical properties of dried products were measured in order to investigate the drying characteristics. The mechanism of water movement during air drying of *Lentinus edodes* closely followed the Page model. That was $M - M_e / M_0 - M_e = \exp(-0.275t^{1.54})$ at 50°C and 20% RH. The free amino acids increased with increased relative humidity. The color and browning degree increased with increased air temperature and relative humidity. The rehydration rate was low when the air temperature and relative humidity were high.

Key words: Hot air drying, *Lentinus edodes*, microcomputer control system

서 론

버섯은 영양학적 가치뿐만 아니라 자연식품 및 건강식품의 선호에 따라 그 소비량이 증가하고 있는 추세이다. 그러나, 생체의 경우 초기 수분 함량이 높고, 조직이 연하여 신선한 상태를 장기간 유지하기 어렵다. 따라서 버섯은 수확한 후 단시일 내에 저온 저장, CA저장, 병조림, 염장, 통조림 또는 건조 등의 가공 과정을 거친다. 이 때 대부분의 건조방법은 열풍건조 및 천일건조의 방법이 이용되고 있다^(1,5). 버섯류의 열풍건조는 천일건조시에 생기는 포자의 비산, 버섯세포 조직의 교질화 및 광택 등의 품질저하를 막을 수 있는 장점이 있다. 일본에서는 干尾 등⁽⁶⁾의 건조방법이 많이 이용되고 있는데, 예비건조, 본건조, 본건조후기 및 마무리 건조의 4단계로 나누어진다고 보고하고 있다^(7,8). 국내에서는 조 등⁽⁹⁾이 표고버섯의 열풍건조 속도론에 대하여 보고하였으며, 백 등⁽¹⁰⁾은 건조 방법에 따른 표고버섯의 품질 평가에 관한 보고를 한 바 있다. 그러나 현재 우리 나라의 농가에서 버섯류의 건조

에 이용되고 있는 건조방법은 원시적인 형태를 탈피하지 못하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구는 버섯류 건조를 위한 현행 열풍건조 장치에 마이크로 컴퓨터 제어장치를 부착하여 양질의 제품을 얻을 수 있을 뿐만 아니라, 노동력의 절감 및 생산력 증대 등의 많은 잇점이 있는 건조 시스템을 개발하고, 양송이 버섯 및 표고버섯의 열풍건조 시에 건조온도와 건조실내의 상대습도가 건조특성 및 건조기작과 피건물의 품질에 미치는 영향을 구명하였다.

재료 및 방법

재료

표고버섯은 초기 수분함량이 약 87%(W.B.), 평균무게 15-20 g, 갓의 장경 6-8 cm, 단경 5-6 cm인 것을 원형 또는 세로 방향으로 한번 절단하여 건조용 시료로 하였다.

건조장치

본 실험에 사용한 건조장치는 Microcomputer, PC-Lab card, Op. Amp., Relay, 건조기 순으로 접속하였

Corresponding author: Kyu-Seob Chang, Department of Food Science and Technology, Chungnam National University, 305-764 Taejon, Korea

다. 건조기는 1940×903×1000 mm(W×L×H) 크기의 열풍 건조기를 사용하였으며, Microcomputer는 RAM 1 megabyte, HDD 20 megabyte를 내장한 personal computer를 사용하였다. A/D와 D/A 변환기는 PCL-812 Enhanced Multi Lab Card 12 Bit를 사용하였다. 온도센서는 Pt-100 core의 thermistor를 사용하였고, 습도센서는 MODSWHS Type 28을 사용하였다. 온도와 습도의 제어는 계측된 온도와 습도값을 설정된 값들과 비교하여 4개의 Heater를 On/Off하고, Damper의 구동, 냉매의 순환 및 가습기의 가동으로 조절하였다.

건조특성측정

상기 재료의 건조시에 건조실내의 온도와 상대습도가 건조특성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 45-60°C의 건조온도에서 건조실내의 상대습도를 15-30%로 조절하여 최종 수분함량이 10%이하에 도달하도록 건조하였다. 또한 표고버섯의 수분이동 기작을 구명하기 위하여 다음의 Exponential model⁽¹⁾과 Page model⁽²⁾을 적용시켰다.

$$\frac{M - M_c}{M_0 - M_c} = \exp(-k \cdot t) \tag{1}$$

$$\frac{M - M_c}{M_0 - M_c} = \exp(-k \cdot t^n) \tag{2}$$

여기서, M은 임의의 시간에서의 수분함량(% , D.B.), M₀는 초기수분함량(% , D.B.), M_c는 평형수분함량(% , D.B.), t는 건조시간(hr)이며, k와n은 실험 상수이다.

아미노산 추출 및 정량

건조시료 5 g에 증류수 50 ml를 가하고 마쇄한 후 30분간 원심분리한 상층액에 25% trichloro acetic acid (TCA)를 동량 첨가하여 냉장고에서 1시간 방치하였다. 이를 다시 30분간 원심분리하고 그 상층액에 ethyl ether를 가하여 잘 흔들어서 TCA, 지방, 색소 등을 제거한 수층을 50°C에서 감압농축시키고 0.2 M Na-citrate완충액(pH 2.2)으로 총 50 ml가 되도록 조정하여 분석 시료로 사용하였다. 아미노산 정량은 분석 시료 40 μl를 아미노산 자동분석기(Hitachi model 835)를 이용하여 분석하였으며, 정량 표준액은 Amino acid standard mixture를 사용하여 검출된 아미노산을 개별 정량하였다

색도 측정

건조 시료를 80mesh의 분말로 하여 Color diff-

erence meter(Micro MATCH 500)를 사용하여 측정하였다.

갈변도 측정

건조버섯 1 g에 증류수 40 ml를 가하고 10% trichloro acetic acid 용액 10 ml를 가하여 상온에서 2시간 방치한 후 여과하여 spectrophotometer (HITACHI U-1100)로 420 nm에서 흡광도를 측정하였다.

복원률 측정

건조버섯 5 g을 150 ml의 증류수에 침지하여, 복원전의 중량에 대한 복원 후의 수분량의 비율(g water/g solid)로서 나타내었다.

결과 및 고찰

표고버섯은 고체 표면에서 수분이 증발하기 위해서 내부 수분이 고체층을 통하여 표면으로 이동한다. 고체층을 통한 수분의 이동 메카니즘에는 여러가지가 있다. 실제 건조기작에서 일반적으로 이들 메카니즘이 복합적으로 일어나며, 또한 건조하는 동안 메카니즘이 변하므로 건조기작을 수식화한다는 것은 매우 힘든 작업이다. Fig.1은 원형 표고버섯을 건조실내의 상대습도를 20%로 조절하여 건조하였을 때 각 건조 온도에서의 건조율 곡선을 보여준다. 대부분 감률 건조기에서 건조가 일어나는 것으로 나타났다. 또한 45°C의 건조온도보다 60°C의 건조온도에서 약 9-10시간 빠르게 평형수분율에 도달하였으며, 50°C의 건조 온도에서 반질 표고버섯의 경우는 원형 표고버섯보다

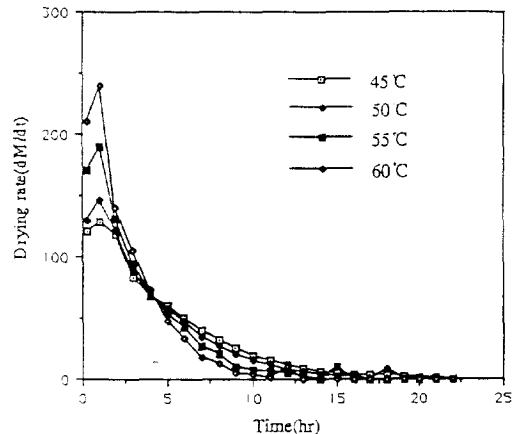


Fig. 1. Effect of temperature on the relationship of drying rate and drying time of *Lentinus edodes* (whole) at 20% RH

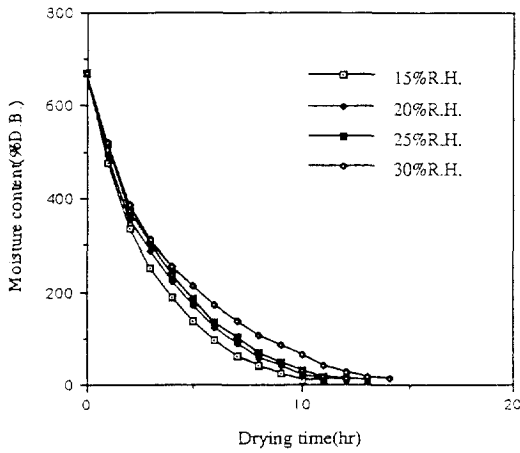


Fig. 2. Effect of RH on the relationship of moisture content and drying time of *Lentinus edodes* (cut) at 50°C

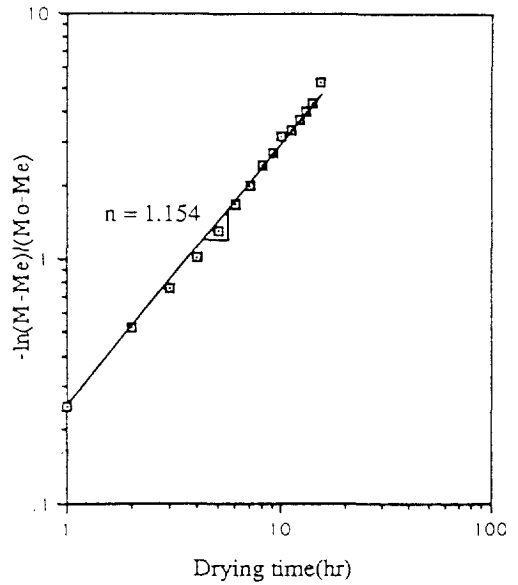


Fig. 4. Graphical determination of empirical constant of Page model for drying *Lentinus edodes* (whole) at 50°C

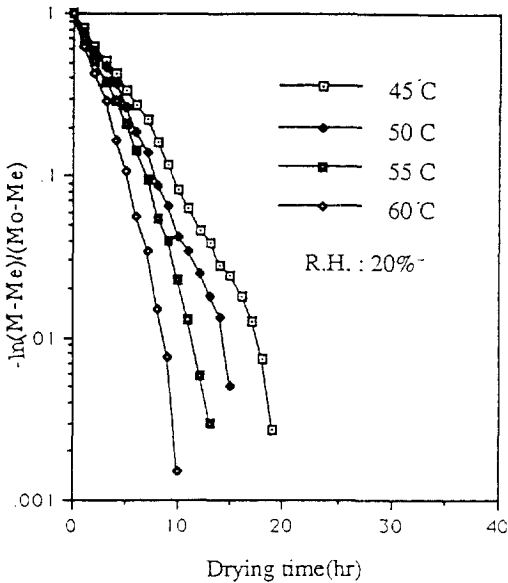


Fig. 3. Plot of dimensionless moisture content vs. drying time of *Lentinus edodes* (whole)

약 8-9시간 더 빠르게 평형습수율에 도달하였다. 한편 건조실내의 상대습도가 표고버섯의 건조속도에 미치는 영향은 건조온도가 건조속도에 미치는 영향보다는 적었으며, 건조실내의 상대습도에 따라 약 3-4시간의 차이를 나타내었다. Fig. 2에 절단한 표고버섯을 50°C의 건조온도에서 건조실내의 상대습도를 달리 하였을 때의 수분함량의 변화를 나타내었다.

감률건조기간 동안 수분이동 기작은 크게 모세관 이동과 확산으로 나누는데 최 등⁽¹¹⁾은 표고버섯을 감압

건조할 경우 확산이동을 따른다고 보고한 바 있다. 대부분의 농산물에서와 같이 표고버섯도 확산이동에 의해 건조된다고 보고, 건조 결과를 확산기작중 Exponential model을 적용시켜 본 결과 Fig. 3과 같다. 시료의 형태와 건조조건에 관계없이 모두 유사한 건조기작을 따른다는 것을 알 수 있었으며, 모든 조건에서 일정한 건조 상수 값을 나타내지 못하였다. 또한 시간에 따라 건조상수(k)가 변하기 때문에 이 식으로는 표고버섯의 건조기작을 정확히 설명할 수 없음을 보여주었다. 따라서 원형 표고버섯을 건조온도 50°C와 건조실내의 상대습도를 20%로 조정하여 건조할 경우 실험상수 k와 n을 구하기 위하여 실험 결과를 확산기작중 Page model식⁽²⁾을 적용시켜 본 결과 Fig. 4와 같으며, 다음과 같은 식을 얻을 수 있었다. 이 식으로 표고버섯의 대략적인 건조기작을 유추할 수 있었다. 이 결과는 최 등⁽¹¹⁾의 보고와는 차이가 있으나, 이는 건조조건과 건조방법의 차이에 기인한 것으로 생각된다.

$$\frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \exp(-0.275t^{1.154}) \quad (3)$$

아미노산 함량

표고버섯을 50°C에서 건조실내의 상대습도를 달리 하여 열풍건조한 후 유리 아미노산을 측정된 결과 Table 1과 같다. 상대습도를 증가시키에 따라 아미노

Table 1. Changes in composition of free amino acids of dried *Lentinus edodes* at different relative humidity at 50°C (mol/g of dry matter)

Amino acids	15% RH	20% RH	25% RH	30% RH
Cystine	0.212	0.173	0.266	0.245
Methionine	0.179	0.171	0.242	0.214
Aspartic acid	0.957	0.954	1.102	1.117
Threonine	0.525	0.519	0.614	0.627
Serine	0.572	0.571	0.671	0.686
Glutamic acid	1.883	1.610	2.634	2.267
Proline	0.605	0.300	0.635	0.707
Glycine	0.518	0.510	0.590	0.612
Alanine	0.595	0.603	0.674	0.710
Valine	0.651	0.637	0.761	0.821
Iso-leucine	0.430	0.426	0.486	0.506
Leucine	0.686	0.675	0.778	0.803
Tyrosine	0.287	0.291	0.355	0.311
Phenylalanine	0.465	0.449	0.530	0.527
Lysine	0.698	0.678	0.805	0.784
Histidine	0.038	0.038	0.037	0.063
Arginine	0.583	0.566	0.566	0.652

Table 2. Effects of drying temperature, relative humidity and sample types on the color of *Lentinus edodes* during drying process

Air characteristics		Sample types	Hunter		
Temp.(°C)	RH(%)		L	a	b
45	20	whole	63.1	5.4	8.1
50	20	whole	64.2	5.7	8.7
55	20	whole	62.4	6.5	9.6
60	20	whole	59.5	7.2	9.9
50	15	whole	64.8	5.6	8.6
50	25	whole	63.7	5.7	9.1
50	30	whole	58.0	5.7	9.3
50	20	whole	64.2	5.7	8.7
50	20	cut	64.3	5.5	7.6

산의 함량이 증가함을 볼 수 있다. 각종 버섯에 함유되어 있는 아미노산 함량은 종류에 따라 차이가 심하고 동일종인 경우도 발육단계, 발생환경 및 발생시기 등에 따라 많은 차이를 보인다고 보고되고 있다⁽¹⁴⁾. 또한 Hiroko 등⁽¹²⁾은 건조된 버섯을 복원하는 동안 아미노산의 변화에 관한 연구에서 모든 아미노산은 물에 침지함에 따라서 아미노산 함량이 증가한다고 보고한 바 있다.

색도

Table 2는 각 건조조건에 따른 표고버섯의 색도를 나타낸 것이다. 건조온도가 높을수록 Hunter L값이 감소하였으며, a와 b값은 증가하는 경향을 나타내었다.

Table 3. Changes of browning degree on the dried *Lentinus edodes*

Air temp. (°C)	Sample types	Browning degree (O.D. at 420nm)			
		15% RH	20% RH	25% RH	30% RH
45	whole	0.065	0.066	0.067	0.083
50	whole	0.064	0.067	0.068	0.089
55	whole	0.068	0.068	0.075	0.078
60	whole	0.100	0.101	0.127	0.148
45	cut	0.075	0.073	0.084	0.086
50	cut	0.077	0.080	0.083	0.088
55	cut	0.078	0.082	0.092	0.097
60	cut	0.105	0.132	0.173	0.180

Table 4. Effects of air temperature, relative humidity and sample types on rehydration ratio of dried *Lentinus edodes* after 3 hours of soaking

Sample types	Air temp. (°C)	Rehydration (g water/g solid)			
		15% RH	20% RH	25% RH	30% RH
Whole	45	8.18	7.38	7.31	7.18
	50	8.42	7.58	6.24	5.42
	55	8.07	7.52	5.98	5.39
	60	7.39	7.28	6.24	4.51
Cut	45	8.80	8.41	7.71	7.43
	50	8.79	8.65	7.89	6.44
	55	7.39	7.41	6.40	5.95
	60	7.76	6.01	5.10	4.30

형태별로는 원형의 것보다 절단한 것이 Hunter a와 b 값이 높게 나타났다. 또한 상대습도가 높을수록 Hunter L값은 감소하고 a와 b값은 증가하였다. 이 결과는 Mazza⁽¹⁴⁾의 돼지감자의 열풍건조에서의 색도변화에 대한 연구결과와 유사하였다.

갈변도

Table 3은 원형과 절단 상태로하여 건조한 표고버섯의 갈변도 측정 결과를 보여준다. 열풍의 온도가 높고, 건조실내의 상대습도가 높을수록 갈변도는 증가하는 경향을 보여주었다. 그리고 원형보다는 절단한 것의 갈변도가 높게 나타났다.

복원률

건조된 표고버섯의 복원률을 측정된 결과 침지 후 60분까지는 급격한 흡수를 보여 주다가 이후에는 물의 흡수량 변화가 적었다. 또한 열풍의 온도와 상대습도 및 시료의 형태가 복원률에 미치는 영향은 열풍의 온도가 증가할수록 복원률은 낮으며, 건조실내의 상대습도가 높을수록 복원률이 낮아지는 경향을 나타내었다. Table 4에는 표고버섯의 복원률에 열풍의 온도

와 건조실내의 상대습도 및 시료의 형태가 미치는 영향을 나타내었다. 이러한 결과는 백 등⁽¹⁰⁾의 건조방법에 따른 표고버섯의 품질평가에 관한 연구결과와 유사하였다.

요 약

표고버섯의 건조공정에 큰 영향을 미치는 열풍의 온도, 습도 및 수분감량 등의 요인을 제어할 수 있는 마이크로 컴퓨터 제어 시스템을 이용하여 버섯류의 건조특성과 기작을 구명하고, 건조제품의 이화학적 특성을 측정하였다. 표고버섯의 열풍건조중 수분이동은 Page Model을 따랐으며, 50°C의 건조온도와 20% 상대습도의 건조조건에서 건조시의 관계식은 $M - M_e / M_0 - M_e = \exp(-0.275t^{1.154})$ 였다. 건조된 표고버섯의 아미노산 함량은 상대습도를 증가시키에 따라서 증가하였다. 그리고 색도 및 갈변도는 건조온도와 상대습도가 증가할수록 증가하였으며, 복원률은 건조온도와 상대습도가 낮을수록 증가하였다.

문 헌

1. 이정수, 박광훈, 서기봉, 민병용 : 양송이 저장시험. 식품연구소사업보고(농어촌개발공사), 49 (1975)
2. 서기봉, 최광수, 박남연, 장규섭 : 양송이 균주별 가공적성 시험. 농공시험연구보고서, 507 (1970)

3. 이동선, 박노현, 신휴년, 신동화 : 양송이 통조림 가공중 에너지 소비량 조사 연구. 한국식품과학회지, 13, 328 (1981)
4. 이세은, 김길환, 김동만 : MA저장중 표고버섯(*Lentinus edodes*)의 품질변화에 관한 연구. 한국식품과학회지, 20, 133 (1988)
5. 김동만, 백형희, 윤혜현, 김길환 : 표고버섯(*Lentinus edodes*)의 CA저장중 탄산가스 농도의 효과. 한국식품과학회지, 21, 461 (1989)
6. 平尾武司 : シイタケ乾燥法, 農産漁村文化協會, p.98 (1978)
7. 河合晃 : シイタケ熱風乾燥適正排氣量溫度. 菌草研究所研究報告, 5, 56 (1966)
8. 木村進 : 乾燥食品事典, 朝倉書店, 日本, p.323 (1984)
9. 조덕봉, 김동필, 최춘순 : 표고버섯의 열풍건조 속도론에 관한 연구. 한국영양식량학회지, 10, 53 (1981)
10. 백형희, 김동만, 김길환 : 건조방법에 따른 표고버섯의 품질변화. 한국식품과학회지, 21, 145 (1989)
11. 최재용, 김공환, 전재근 : 마이크로 컴퓨터 시스템을 이용한 표고버섯의 감압건조에 관한 연구. 한국식품과학회지, 19, 550 (1987)
12. Eri S., Yasuo A. and Tatsuyuki S.: Contents of free amino acid in mushrooms. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, 32, 509 (1985)
13. Hiroko, S., Naiko, N., Yasuo, A. and Tatsuyuki, S.: The changes of free amino acids during rehydration of dried Shiitake mushroom. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, 35, 90 (1989)
14. Mazza, G.: Sorption isotherms and drying rate of Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus*). *J. Food Sci.*, 49, 384 (1984)

(1995년 8월 16일 접수)