

# 표고버섯의 건조 및 품질 변화 특성

## Drying and Quality Change Models of Oak Mushroom(*Lentinus edodes*)

금동혁\*                      홍남운\*

정회원                      정회원

D. H. Keum    N. U. Hong

### 1. 서론

우리나라 농가에 보급되고 있는 건조기는 열풍을 이용하는 건조기로 건조 중에 상자를 상하 교환해야 하는 번거로움과 습도를 수동으로 조절하는 구조로 자동화 및 시설화가 어려워 시간과 노력이 많이 소비된다. 이와 같은 표고버섯 건조기의 단점을 해결하거나 새로운 건조기를 개발하기 위해서는 표고버섯의 건조특성과 건조 중의 품질변화 특성 및 적정 건조조건의 구명이 우선되어야 한다. 그러나, 이와 관련된 연구가 일부 이루어지고 있으나 연구결과가 미진한 실정이다.

따라서 본 연구는 표고버섯의 평형함수율을 정적인 방법으로 측정하여 평형함수율 모델을 개발하고, 열풍건조특성 및 품질 변화 특성을 구명하여 건조모델과 품질모델을 개발하고자 하였다.

### 2. 재료 및 방법

#### 2.1 공시재료

본 연구에 사용한 표고버섯은 1998년 11월 6일에 경기도 어주군 여주읍에 위치한 임업협동조합중앙회 임산미생물사업소에서 일반적으로 널리 보급되고 있는 임협 1호였다.

#### 2.2 실험장치

##### 2.2.1 평형함수율 측정장치

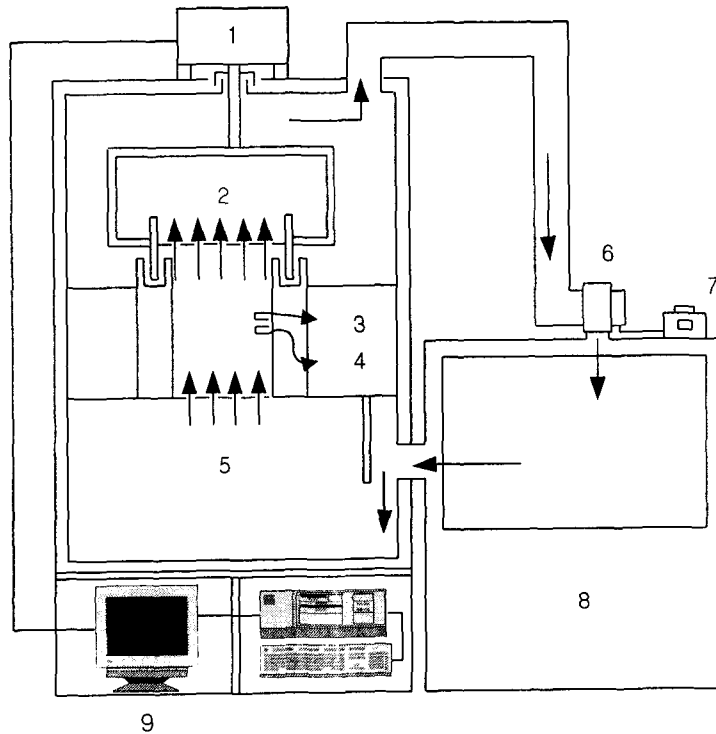
실험장치는 염용액 제조장치, 저장장치, 보관장치, 측정장치 등으로 구성되었다. 염용액 제조장치는 Hotplat와 Magnetic bar로 구성되었다. 이 장치는 증류수의 온도를 일정하게 유지할 수 있으며, 또한 마그네틱 바의 회전력을 조절할 수 있게 구성되어 있다. 저장장치는 정확한 온도 범위를 유지하기 위해서 35℃, 45℃ 범위에서는 인큐베이터를 사용하였으며, 5℃, 65℃ 범위에서는 건조오븐을 사용하였다. 보관장치는 실리콘으로 밀봉이 가능한 데시케이터를 사용하였다. 측정장치는 소수점 3자리까지 측정이 가능한 전자저울을 사용하였다.

---

\* 성균관대학교 생명공학부 생물기전공학전공

### 2.2.2 건조 실험 장치

그림 1은 건조실험에 사용된 장치의 개략도를 나타낸 것이다. 실험장치는 공기조화장치, 송풍장치, 건조실, 송풍관, 배기관, 무게측정장치 및 데이터 저장장치 등으로 구성되었다. 공기조화장치는 건구온도  $-45\sim 105^{\circ}\text{C}$ , 상대습도  $0\sim 99\%$  범위의 공기를 발생할 수 있으며, 오차는 온도  $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ , 상대습도  $\pm 2.5\%$ 이다. 건조실 내의 풍속은 시료상자 밑에서 마노메타를 이용하여 측정하였으며,  $1.5\text{m/s}$ 로 나타났다. 송풍관과 배기관의 외부에는 송풍과정에서 온도의 열손실을 막기 위해 단열재를 이용하였으며, 내부에서의 공기가 균일하게 유동할 수 있도록 설계되었다. 건조실에 시료상자를 그림 3-3과 같이 설치하였으며, 건조실 하부에는 다공판을 설치하여 공기의 유속분포가 균일하도록 설계하였다. 시료의 무게 변화는 시료상자와 연결된 전자저울과 자료수집장치에 의하여 연속적으로 측정하였다. 시료상자는 원통형(직경 :  $28.5\text{ cm}$ )으로 제작하였으며, 시료층을 통과하는 공기가 시료층 이외의 다른 통로로 유출되는 것을 방지하기 위하여 시료상자를 그림과 같이 2중 원통 사이에 놓이게 하였다.



1. Electronic balance    2. Sample tray    3. Temperature sensor    4. Humidity sensor  
5. Plenum chamber    6. Turbo fan    7. Fan speed controller    8. Drying chamber

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

## 2.3 실험 및 분석 방법

### 2.3.1 평형함수율

온도 4수준(35°C, 45°C, 55°C, 65°C), 상대습도 5수준(10~90%범위)에서 평형함수율 실험을 3반복 수행하였다. 표 1은 본 실험이 사용한 포화 염용액과 온도 및 상대습도를 나타낸 것이다. 염용액을 조제하기 위해 Hotplat 위에 증류수를 넣은 비이커를 올려놓고, 증류수의 온도를 일정하게 유지한 후 염으로 포화가 될 때까지 염을 녹였다. 포화가 된 포화 염용액을 데시케이터에 넣고 그 위에 시료받침을 얹은 다음 소편, 중편, 대편의 크기별로 표고버섯을 각각 3개씩 올려놓았다. 데시케이터의 뚜껑을 실리콘으로 밀봉하고, 35°C, 45°C, 55°C, 65°C로 미리 온도조절이 되어 있는 인큐베이터에 데시케이터를 나누어 넣었다.

데시케이터 내의 표고버섯의 무게 측정에는  $\pm 0.001\text{g}$ 의 오차를 가지고 있는 전자저울을 이용하여 1주일 간격으로 무게 변화를 측정하였다. 무게 변화가 3주간 연속으로 0.001g 이하의 변화를 보일 때 평형함수율에 도달한 것으로 간주하였다. 표고버섯의 함수율은 105°C/24시간 상압정온법을 이용하여 측정하였다. 평형함수율 측정 자료는 농산물 평형함수율 모델로 많이 이용되는 수정 Henderson모델, Chung-Pfost모델, 수정 Halsey모델, 수정 Oswin모델에 적합시켜 실험상수를 결정하고 적합성을 검증하였다.

Table 1 Difference temperature of equilibrium relative humidity for saturated salt solution (Greenspan, 1977)

Temperature (°C)	Salt(%ERH)							
	Lithium Chloride (LiCl)	Magnesium Chloride (MgCl <sub>2</sub> )	Magnesium Nitrate (Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> )	Sodium Bromide (NaBr)	Sodium Nitrate (NaNO <sub>3</sub> )	Sodium Chloride (NaCl)	Potassium Chloride (KCl)	Potassium Nitrate (KNO <sub>3</sub> )
35	11.25	32.05	49.91	54.55	72.06	74.87	82.95	90.79
45	11.16	31.10	46.93	51.95	69.99	74.52	81.74	87.03
55	11.03	29.93	-	50.15	68.15	74.41	80.70	-
65	10.86	28.54	-	49.49	66.64	74.71	79.85	-

### 2.3.2 건조 실험 및 분석 방법

건조온도는 35°C, 45°C, 55°C, 65°C의 4수준으로 하고, 상대습도는 30%, 50%, 70%의 3수준으로 하였다. 유속은 1.5m/s를 유지하였다. 실험 시작 1시간 전에 시료를 꺼내 시료의 온도가 실내온도와 평형을 유지하게 한 후 무작위로 표고버섯 10개를 취하여 갓을 기준으로 3cm의 자루만 남기고 나머지 부분을 제거한 다음 시료상자에 담아 건조실에 설치하여 무게 변화를 측정하였다. 시료의 무게변화는 자료수집장치를 통하여 컴퓨터에 연속적으로 기록하고, 풍속으로 인한 오차를 줄이기 위하여 측정값을 1초 간격으로 1분 동안 수집된 자료의 평균을 기록하였다. 박충건조실험은 24시간 동안 무게의 변화를 측정하였으며, 3반복 수행하였다. 함수율 측정자료를 Henderson모델, Lewis모델, Page모델, Thompson모델에 적합시켜 실험상수를 결정하고 적합성을 검증하였다.

2.3.3 품질 요인 실험

표고버섯의 품질은 건조전후 또는 건조 중 버섯 갓의 색도의 변화와 갓의 투영면적의 축소율로 나타내었다. 색도의 변화는 색차계를 이용하여 측정하였으며, 갓의 투영면적은 갓의 장축과 단축의 길이를 측정하여 계산하였다. 표고버섯의 색도는 시료 10개씩을 취하여 갓의 중심부위를 편평한 검은 바닥에 가지런히 편후 색차계로 측정하였다. 명도(L, Lightness), 적색도(a, Redness), 황색도(b, Yellowness)를 3회 3반복 측정하였으며, 사용된 표준 백색판의 L값은 97.75, a값은 -0.49, b값은 1.96이었으며, 전체적인 색차를 나타내주는  $\Delta E$ 값으로 계산하였다. ( $\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$ ) 시료 10개씩을 취하여 갓의 장축과 단축을 건조시간 단위로 측정하였다. 건조 전의 갓의 투영면적에 대한 t 시간 건조 후 갓의 투영면적 비를 분석에 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 평형함수율

수정 Henderson모델, Chung-Pfost모델, 수정 Halsey모델 및 수정 Oswin모델에 적합시켰으며, SAS(Ver. 6.12)의 비선형회귀분석 프로그램을 이용하여 결정한 각 모델의 실험상수와 RMSE 및 결정계수는 표 2와 같다.

Table 2 Estimated regression coefficients and roof mean square error for modified Henderson, Chung-Pfost, modified Halsey and modified Oswin models

Models	Regression Coefficients			R <sup>2</sup>	RMSE	
	A	B	C		EMC (Dec.)	RH (Dec.)
Modified-Henderson	0.0330	0.9331	106.0312	0.9005	0.0235	0.0140
Chung-Pfost	391.8132	9.1615	133.7697	0.7700	0.0318	0.0180
Modified-Halsey	-2.1567	-0.0096	0.9915	0.9554	0.0103	0.0060
Modified-Oswin	0.1537	-0.0009	1.3852	0.9559	0.0166	0.0097

이상의 결과를 종합하면, 평형함수율의 RMSE는 0.0103으로 4개의 모델 중 가장 낮은 값을 나타내고 있으며, 상대습도의 전구간에서 예측치와 실측치가 잘 일치하는 수정 Halsey모델이 표고버섯의 평형함수율 모델로 가장 우수한 것으로 판단된다.

3.2 건조모델

- 지수모델

$$MR = A \cdot \exp(-k_1 \cdot t) \dots\dots\dots(4-1)$$

$$A = 0.64483 + 0.00437 \cdot T + 0.00616 \cdot RH - 0.00004 \cdot T^2 - 0.00005 \cdot RH^2 + 0.00001 \cdot T \cdot RH$$

$$k_1 = -0.15346 + 0.00974 \cdot T + 0.00369 \cdot RH - 0.00005 \cdot T^2 - 0.00003 \cdot RH^2 - 0.00005 \cdot T \cdot RH$$

- Lewis모델

$$MR = \exp(-k_2 \cdot t) \dots\dots\dots(4-2)$$

$$k_2 = -0.09179 + 0.00974 \cdot T + 0.00211 \cdot RH - 0.00004 \cdot T^2 - 0.00001 \cdot RH^2 - 0.00006 \cdot T \cdot RH$$

- Page모델

$$MR = \exp(-P \cdot t^Q) \dots\dots\dots(4-3)$$

$$P = 0.23585 + 0.00814 \cdot T - 0.00513 \cdot RH - 0.00002 \cdot T^2 + 0.00005 \cdot RH^2 - 0.00008 \cdot T \cdot RH$$

$$Q = 0.18606 + 0.01017 \cdot T + 0.01168 \cdot RH - 0.00012 \cdot T^2 - 0.00010 \cdot RH^2 + 0.00005 \cdot T \cdot RH$$

- Thompson모델

$$t = B \cdot \ln(MR) + C \cdot (\ln MR)^2 \dots\dots\dots(4-4)$$

$$B = -2.16619 + 0.13145 \cdot T - 0.12765 \cdot RH - 0.00082 \cdot T^2 + 0.00029 \cdot RH^2 - 0.00019 \cdot T \cdot RH$$

$$C = 8.99475 - 0.14647 \cdot T - 0.13732 \cdot RH + 0.00138 \cdot T^2 + 0.00116 \cdot RH^2 - 0.00008 \cdot T \cdot RH$$

여기서, MR : 함수율비(dec.), A, B, C, P, Q,  $k_1$ ,  $k_2$  : 실험상수, t : 건조시간(hr)  
T : 온도(°C), RH : 상대습도(%)이다.

Table 3 Comparison of R<sup>2</sup> and RMSE for 4 different drying models

Equations	R <sup>2</sup>	RMSE
Henderson	0.98561	0.00578
Lewis	0.99211	0.00704
Page	0.99731	0.00263
Thompson	0.99142	0.02311

표 3과 같이 Page의 건조모델에서 결정계수는 0.99731로 가장 높게 나타났으며, RMSE는 0.00263으로 가장 낮은 값을 나타내었다. 따라서 4개의 모델 중 Page모델이 표고버섯의 건조모델로 가장 적합한 것으로 판단되었다.

### 3.3 품질특성

#### 3.3.1 색차의 변화

$$\Delta E = \beta_0(1 - \exp(-\beta_1 \cdot t)) \dots\dots\dots(4-5)$$

- 건조 성공품(55°C 70%, 65°C 50%, 65°C 70%을 제외한 조건)일때

$$\beta_0 = 22.76088 - 0.69310 \cdot T - 0.32117 \cdot RH + 0.00791 \cdot T^2 + 0.00370 \cdot RH^2 - 0.00089 \cdot T \cdot RH$$

$$\beta_1 = -10.99642 + 0.38928 \cdot T + 0.10687 \cdot RH - 0.00331 \cdot T^2 - 0.00065 \cdot RH^2 - 0.00085 \cdot T \cdot RH$$

- 건조 실패품(55°C 70%, 65°C 50%, 65°C 70%)일때

$$\beta_0 = 27.07898 + 0.07629 \cdot T - 0.04122 \cdot RH$$

$$\beta_1 = -59.77796 + 0.73101 \cdot T + 0.29698 \cdot RH$$

여기서,  $\Delta E$  : 색차, t : 시간(hr),  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  : 실험상수이다.

색차의 변화에 대한 회귀모델의 적합성을 검정했으며, 실측치와 예측치를 비교하여 결정계수(R<sup>2</sup>)와 RMSE로 나타내었다. 결정계수(R<sup>2</sup>)의 평균은 0.94982로 나타났으며, RMSE의 평균은 0.14025로 나타났다. 검정 결과 색차의 변화는 유의성이 인정되었다.

### 3.3.2 투영면적의 변화율

$$\left(\frac{A_t}{A_0}\right) = \exp(-A \cdot t^B) \dots\dots\dots(4-6)$$

$$A = 0.23350 - 0.00053 \cdot T - 0.00077 \cdot RH + 0.00010 \cdot T^2 + (6.67E-6) \cdot RH^2 - 0.00006 \cdot T \cdot RH$$

$$B = -0.31718 + 0.01147 \cdot T + 0.01962 \cdot RH - 0.00006 \cdot T^2 - (1.67E-8) \cdot RH^2 - 0.00021 \cdot T \cdot RH$$

여기서, A<sub>0</sub> : 초기의 투영면적(cm<sup>2</sup>), A<sub>t</sub> : t 시간 후 측정된 투영면적(cm<sup>2</sup>), t : 시간(hr)

A, B : 실험상수, T : 온도(°C), RH : 상대습도이다.

투영면적의 변화율에 대한 회귀모델의 적합성을 검정했으며, 실측치와 예측치를 비교하여 결정계수(R<sup>2</sup>)와 RMSE로 나타내었다. 결정계수(R<sup>2</sup>)의 평균은 0.97318로 나타났으며, RMSE의 평균은 0.00893으로 나타났다. 검정 결과 투영면적의 변화율은 고도의 유의성이 인정되었다

## 4. 요약 및 결론

본 연구는 버섯 중 가장 많이 재배되고 있는 표고버섯을 시료로 하여 건조온도 4수준 ( 35°C, 45°C, 55°C, 65°C ), 상대습도 3수준( 30%, 50%, 70% )에서 평형함수율 측정, 건조실험 및 품질실험을 수행하였다. 표고버섯의 건조특성을 규명하고 기존의 건조모델과 본 실험에서 설정한 실험모델의 매개변수에 관한 식을 온도, 상대습도 등의 함수로 개발하여 표고버섯의 건조속도를 예측하였으며, 색차와 투영면적의 변화율을 이용하여 품질의 안전영역을 유도하였다.

## 5. 참고문헌

1. 고헌균, 금동혁, 김만수, 노상하, 문성홍, 박경규, 장동일. 1990. 농산가공기계학. 향문사.
2. ASAE STANDARDS. 1997. Moisture relationships of plant-based agricultural products. ASAE D245.5:452~464.
3. Greenspan, L. 1977. Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions. Journal of Research. National Bureau of Standard. 81A:89.
4. 水野卓. 1992.キノコの化學. 生化學.
5. 澤田 崇子, 遠藤 金次. 1990. 乾燥シイタケの調理性. 調理科學. 23(2):193~197.
- 6.きのこ學. 1992. 편집 古川久彦. 홍서출판사.