

표고버섯의 건조특성 및 주요성분의 변화

1. 건조특성 및 건조모델

최병민 · 서재신* · 최주호

순천대학교 농업기계공학과, *식품공학과

Drying Characteristics and Content Change of Major Components of Shiitake Mushroom (*Lentinus edodes*)

1. Drying Characteristics and Drying Model

Byong-Min Choi, Jae-Sin Seo*, Joo-Ho Choi

Department of Agricultural Machinery Engineering,

*Department of Food Science & Technology, Suncheon Nat'l University

Abstract

Drying of Shiitake mushroom was investigated to see the effect of temperature, relative humidity of drying air and diameter of the pileus on its rates. The drying rate was increased with the increase of the air temperature and the decrease of the relative humidity. The external color was dark brown at higher drying temperature and higher relative humidity. Exponential and Thompson model were found to describe well the drying process of the Shiitake mushroom.

Key words : Shiitake mushroom, drying characteristics, drying model

서 론

버섯류의 식용화는 오래전부터이며, 자연발생의 버섯만을 채취하던 것을 지금은 재배하여 수요와 공급이 계속 확대되고 있는 특수작물의 일종이 되기에 이르렀다.

인공재배가 많이 이루어지고 있는 버섯에는 표고, 느타리, 양송이, 송이 등인데 이들 중 표고버섯(*Shiitake mushroom, Lentinus edodes*)은 그 특유한 향기와 맛으로 동서양을 가림없이 애호되고 있는 버섯이며, 특히 유럽지역에서는 발생하지 않는

동양특산으로 우리나라와 일본 및 중국의 일부에서만 생산된다[7].

우리나라의 버섯(표고, 송이, 느타리, 싸리, 기타) 생산량은 1994년 3,140여톤으로써 이중 표고버섯은 해마다 생산량이 증가하여 2,700여톤으로 전체 버섯 생산량의 86%에 달하고 있으며 연간 2,300만\$ 정도가 홍콩, 일본, 미국 등지에 수출되고 있어 농·산촌의 중요한 수입원 중의 하나이다[6].

수확직후의 생표고버섯은 보통 70 ~ 95%의 많은 수분을 함유하고 있어서 부패하기 쉬우므로, 건조하면 오랫동안 저장할 수 있고, 가볍고 수송운반이 간편하며, 다시 물에 담그면 생버섯과 거의 같은 상태로 되어 상품으로 판매하기에도 유리하다[8].

Corresponding author : Byong-Min Choi, Dept. of Agricultural Machinery Engineering, 315 Maegok-Dong, Suncheon, Chonnam 540-742, Korea

표고버섯의 건조방법은 목건법, 천일건조법, 화력건조법으로 대별할 수 있는데 이제까지의 건조는 천일건조법에 주로 의존하여 왔으나 천일건조는 건조기간 동안에 일기에 크게 영향을 받을 뿐만 아니라 표고버섯 체내의 수분함량을 안전 저장함수율인 13%(wb) 정도까지 건조시키는데는 많은 시간과 노력이 필요하다. 이에 수반하여 곤충에 의한 피해, 미생물의 오염, 이물질의 혼입, 강우에 의한 부패 및 성분의 변화 등에 의해 품질이 저하될 수도 있어 보다 안정된 건조방법이 요구되고 있다.

최근에는 농·산촌 노동력의 급감과 생산량의 확대로 화력건조법을 많이 사용하는 추세에 있으나 화력건조의 경우에도 표고버섯의 건조특성과 건조조건에 따른 성분의 변화 등이 명확히 구명되지 않은 상태에서 건조기의 그물망 선반 위에 박층으로 깔아 건조시키는 관행적인 방법으로 45 ~ 60℃의 온도에서 건조를 행하기 때문에 품질 유지가 불확실할 뿐만 아니라 비과학적이고 비효율적이라 할 수 있다.

이에 따라 표고버섯의 건조에 알맞는 건조기의 개발이 필요한데 이에 앞서 표고버섯의 건조특성과 건조조건에 따른 성분의 변화 및 건조모델에 관한 연구가 선행되어야 한다.

그러나 이제까지 건조온도에 따른 표고버섯의 건조특성과 건조모델 등에 관한 연구가 일부 수행되었으나 건조공기의 온도와 습도조건에 따른 건조특성에 관한 연구는 미흡한 실정이며 특히 표고버섯의 크기까지 고려한 연구는 수행된 바 없다.

따라서 본 연구에서는 건조에 가장 큰 영향을 미치는 건조공기의 온도와 상대습도가 건조특성에 미치는 영향을 구명하며, 농산물의 건조모델로 많이 이용되고 있는 기존의 5개 건조모델에 대해 적합성 검정을 통하여 표고버섯의 건조 예측에 적합한 건조모델을 결정하고자 하였다.

재료 및 방법

공시재료

건조실험은 1996년 9월에 전남 장흥군에서 생

산한 표고버섯을 대상으로 실시하였으며, 구입한 버섯은 갓의 직경을 측정하여 평균 5~6cm, 7~8cm, 9~10cm 사이에 드는 것을 각각 소편(small size), 중편(medium size), 대편(large size)으로 분류하여 냉장고에 보관하고, 건조실험시 버섯 표면의 수분을 제거한 후 버섯의 내부온도가 실내온도와 평형이 되도록 2시간 동안 실내에 방치해 둔 다음 건조실에 넣어 실험하였다.

실험장치

본 건조실험에 사용한 항온항습기는 Fig. 1과 같으며 Table 1은 제원을 나타낸 것이다.

Table 1. Specifications of the drying chamber

Item	Specification
Dimension	W x H x D : 500 x 500 x 600mm
Air conditioner	Dry Bulb Temperature : -20~150℃ (precision ±0.3℃) Relative Humidity : 30 ~ 98% (precision ±2.5%)
Fan	Centrifugal Fan Flow Rate : 0.543m ³ /min

건조과정 중의 시료의 무게변화는 하중변환기(KYOWA, LVS-200GA)와 데이터 로거(NEC-Sanei, DE1200)를 이용하여 저장하였으며, 하중변환기는 건조실 선반에 6개를 고정하여 사용하였다.

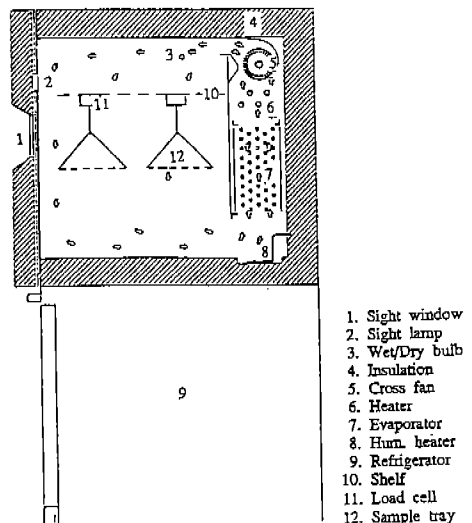


Fig. 1. Schematic diagram of the drying equipment.

실험방법

함수율은 105℃ 오븐에서 24시간 건조하여 측정하였으며, 건조실험은 건조공기의 온도 4수준(30, 40, 50, 60℃), 상대습도 4수준(30, 45, 60, 75%), 표고버섯의 크기 3수준(소편, 중편, 대편)을 택하여 각 온도 및 상대습도 별로 건조실험을 2반복 실시하였다.

시료의 무게변화는 30초 간격으로 측정하였으며, 측정된 무게는 30분마다 분석하고자 하는 시간 전후 각각 3분간의 무게 측정치를 평균하여 사용하였다.

실험 분석시 사용한 평형함수를 값은 염용액을 이용한 정적인 방법으로 측정된 건조 평형함수를 값을 이용하여 개발한 실험모델(미발표)에 의해 구한값이며 실험모델은 다음과 같다.

$$EMC = -0.794RH - 0.000338T^2 + 0.00800RH^2 - 3.08\ln T + 10\ln RH \quad (R^2 = 0.998)$$

EMC : 건조 평형함수율(% , wb)
 T : 건조온도(℃)
 RH : 상대습도(%)

건조모델

1. 건조모델 선정

표고버섯의 건조속도를 예측하기 위하여 기존 건조모델들 중 Exponential 모델[5], 유사확산모델[5], Page 모델[2], Wang 모델[4], Thompson 모델[3]을 선택하였다. 이들 기존 모델들은 주로 곡물의 건조과정을 예측하는데 이용되어 왔다. 기존의 건조모델들 대부분이 건조시간 t를 함수율비의 로그함수로 나타내어 건조속도를 예측하고 있다. Table 2는 본 연구에서 분석한 기존모델 5개를 나타낸 것이다.

2. 매개변수에 대한 모델 및 적합성검정

Table 2와 같은 각 건조모델의 매개변수 k, A, B, N, w₁, w₂, 등은 건조공기의 온도, 상대습도 및

버섯의 크기에 따라 변한다. 이 매개변수들의 모델 선정은 건조온도, 건조공기의 상대습도, 표고버섯 갓의 직경과 이들 요인 각각에 로그함수, 자승과 같은 비선형함수를 취하여 9개의 독립변수를 갖는 모델을 가정하였다.

Table 2. Drying models

Model	Equation
Exponential	MR = exp(-k · t)
Approximate-Diffusion	MR = A · exp(-k · t)
Page	MR = exp(-k · t ⁿ)
Wang	MR = 1 + w ₁ · t + w ₂ · t ²
Thompson	t = A · ln(MR) + B · [ln(MR)] ²

MR : Moisture ratio [(M-Me)/(Mo-Me)]
 M : Moisture content(% , db)
 Mo : Initial moisture content(% , db)
 Me : Equilibrium moisture content(% , db)
 t : Drying time(hour)
 k, A, B, N, w₁, w₂ : parameters

$$\begin{aligned} \text{매개변수} = & c_1 \cdot T + c_2 \cdot T^2 + c_3 \cdot \ln(T) + c_4 \cdot RH + c_5 \cdot RH^2 \\ & + c_6 \cdot \ln(RH) + c_7 \cdot D + c_8 \cdot D^2 + c_9 \cdot \ln(D) \end{aligned}$$

T : 건조온도(℃)
 RH : 상대습도(%)
 D : 표고버섯 갓의 직경(cm)
 c₁, c₂, c₃, c₄, c₅, c₆, c₇, c₈, c₉ : 상수

위에 나타난 모델에서는 2⁹개까지의 모델 조합이 나타날 수 있다. 모델의 선정은 MINITAB (Release 10.2) 통계 프로그램[1]의 Stepwise Regression과 Best Subsets Regression을 이용하였으며, 건조모델의 각 시험구에서의 매개변수들은 MINITAB(Release 10.2) 회귀분석 프로그램을 이용하여 구하였다.

모델의 적합성 검정은 개발된 매개변수 모델을 각각의 건조모델에 대입하여 시험구 전체에 대한 결정계수와 F값을 참고로 하고 잔차의 평균평방과 함수율 예측의 평균상대오차율(mean relative percentage deviation)을 계산하여 각각의 모델의 예측성을 비교하였다. 함수율 예측의 평균상대오차율은 24시간까지 건조하는 동안 측정된 함수율과 선정된 모델에 의하여 예측한 함수율과의 잔차를

측정치로 나누어 표준화(normalizing)시킨후 전체 건조시간 동안의 평균치를 계산하여 백분율로 나타낸 것이다. 평균상대오차율(P)은 다음식에 의하여 구한다.

$$P = \frac{100}{N} \cdot \sum \frac{|Y - Y'|}{Y}$$

P : 평균상대오차율(%)

Y : 실측함수율(% db)

Y' : 예측함수율(% db)

N : 측정값의 수(the number of data points)

결과 및 고찰

표고버섯의 건조특성

1. 건조 소요시간

표고버섯을 여러 공기 조건에서 24시간 건조했을 경우 관행의 함수율 13%(wb)까지 건조하는데 걸리는 시간은, 50℃, 상대습도 30%의 조건에서 중편급과 소편급이 각각 20시간, 18시간이 소요되었으며, 60℃, 상대습도 30%의 조건에서는 대편, 중편, 소편급이 각각 19.8시간, 17.5시간, 13시간이 소요되었고, 60℃, 상대습도 45%와 60%의 조건에서 소편급만이 각각 18.5시간과 23.5시간이 소요되었으며 나머지 건조조건에서는 24시간 건조해도 함수율 13%(wb)까지는 건조되지 않았다.

2. 건조곡선

Fig. 2, 3은 각각 온도 40℃ 상대습도 60%와 온도 60℃, 상대습도 45%의 조건하에서 대편, 중편, 소편급 표고버섯의 건조곡선을 보여주는 그림으로서, Fig. 2의 40℃, 상대습도 60%의 건조조건에서 대편, 중편, 소편급의 표고버섯이 함수율비 0.3까지 건조되는 소요시간은 각각, 24, 20.5, 17시간이었으며, Fig. 3의 60℃, 상대습도 45%의 경우 함수율비 0.2까지 건조되는데 소요되는 시간은 대, 중, 소편에서 각각 15, 12.5, 10시간이었다. 따라서 표고버섯의 건조속도도 역시 다른 농산물과 마찬가지로 크기에 반비례함을 알 수 있다.

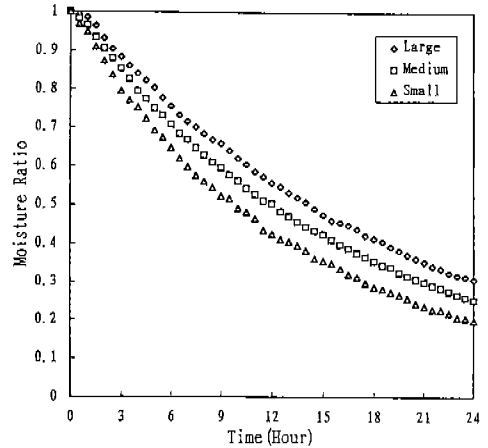


Fig. 2. Effect of mushroom size on drying rate at 40℃ and 60% RH.

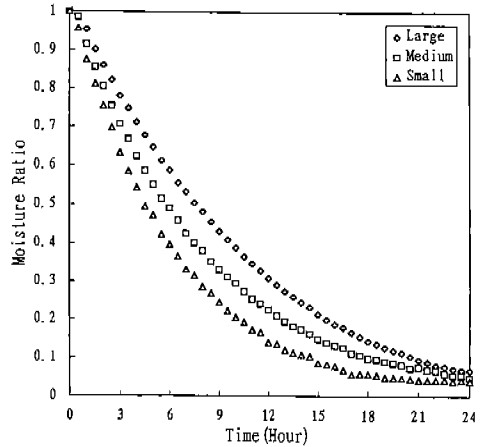


Fig. 3. Effect of mushroom size on drying rate at 60℃ and 45% RH.

Fig. 4, 5는 상대습도가 일정할 때 각 온도조건에서 온도의 영향을 확인하기 위하여 일정크기의 표고버섯에 대한 건조곡선을 나타낸 그림으로서 Fig. 4의 상대습도 30%의 소편급 표고버섯의 경우 함수율비 0.2까지 건조되는데 소요되는 시간은 30, 40, 50, 60℃에서 각각 19.5, 15, 9.5, 7시간이고, Fig. 5의 상대습도 60%에서 중편급이 함수율비 0.3까지 건조되는데 걸리는 시간은 40, 50, 60℃에서 각각 20, 15.5, 12.5시간이며 30℃의 경우는 24시간을 약간 상회하였다. 따라서 건조요인중 건조온도가 건조속도에 아주 큰 영향을 미침을 알 수 있으며, Fig. 2, 3과 비교해 보면 대, 중, 소편

간의 크기에 의한 영향보다는 건조온도 30℃와 60℃의 온도차에 의한 영향이 더 클 수 있다. 또한 30℃와 60℃ 사이에서 온도가 10℃씩 같은 크기로 증가하여도 낮은 온도 구간에서의 온도증가에 따른 건조시간의 단축이 높은 온도구간보다도 큰 것으로 보아 온도가 증가할수록 온도의 효과가 낮은 온도일때 보다 미약함을 알 수 있으며 이 결과는 최[9]가 실험한 인삼의 건조실험 결과와도 흡사하였다.

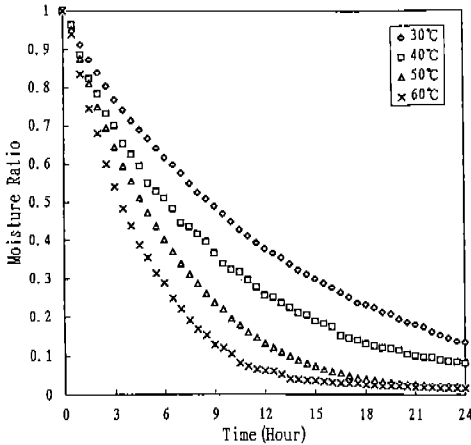


Fig. 4. Effect of drying temperature on drying rate for small-sized mushroom at 30% RH.

Fig. 6은 상대습도가 건조속도에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 50℃의 건조온도에서 소편급의 표고버섯의 각 상대습도별 건조곡선을 나타낸 그림으로서 상대습도가 75%일 때 건조속도에 미치는 영향이 다른 상대습도 구간보다 매우 큼을 알 수 있다. 이는 역시 최[9]의 실험 결과에서 분석한 바와 같이 상대습도가 60%이하로 아주 높지 않는 온도효과가 수증기 분압 때문에 생기는 건조저항을 압도하게 되나 높은 상대습도에서는 건조공기의 수증기압이 재료의 수분증발력을 억제한 결과로 판단된다.

3) 외부색택

표고버섯의 외부색택은 외관상의 품질을 판정하는데 하나의 중요한 요인이다. 등급은 건조후 외부색택과 모양에 따라 백화고, 화고, 흑화고, 등

고, 향고, 향신, 등의 등 7가지로 나누어 진다.

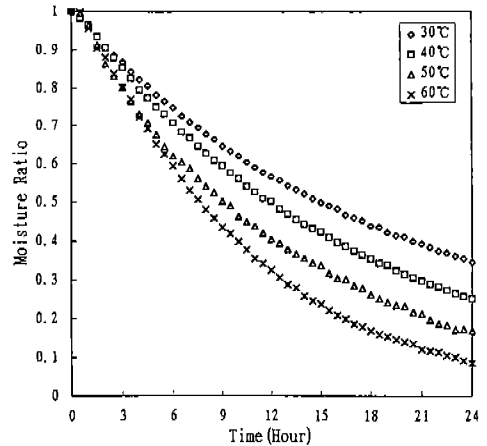


Fig. 5. Effect of drying temperature on drying rate for medium-sized mushroom at 60% RH.

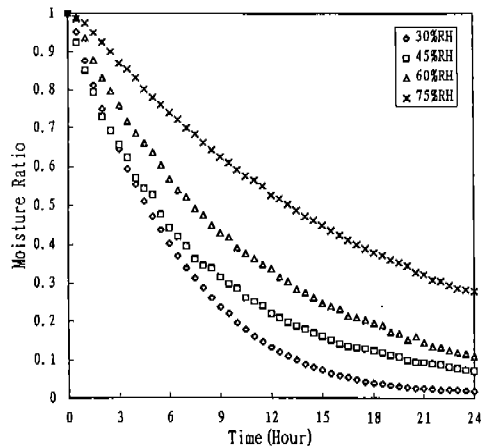


Fig. 6. Effect of relative humidity on drying rate for small-sized mushroom at 50℃

본 실험조건의 모든 온도에서 상대습도 30%의 시험구에서는 건조 시작전 시료의 표피색택과 같았으나 30℃, 40℃의 상대습도 75%와 50℃의 상대습도 60, 75%, 60℃의 상대습도 45, 60, 75%의 시험구에서는 흑갈색으로 변화하였으며, 이러한 현상은 특히 75%의 상대습도 조건에서 건조온도가 높아질수록 정도가 더 심하였다. 이는 앞에서 고찰했던 바와 같이 동일 건조온도에서 상대습도 60%까지의 건조속도는 큰 차이가 없으나 상대습도가 75%로 높아 지면 건조속도가 확연히 지연되는 현상과 연관지을 수 있을 것으로 생각된다.

Table 3. Estimation of parameters involved in drying model (Variables included are diameter of mushroom, drying temperature and relative humidity.)

Model	Estimated Parameters	R ²	F
Exponential	$k = 0.16052 - 0.00171RH + 0.00217T - 0.0433\ln(D)$	0.895	124.95**
Approximate-	$A = 0.5678 + 0.0148D + 0.088\ln(T)$	0.207	5.88**
Diffusion	$k = 0.3709 - 0.0815\ln(RH) + 0.00227T + 0.0362\ln(D)$	0.891	119.66**
Page	$k = 0.262 - 0.00225RH + 0.00209T - 0.066\ln(D)$	0.886	113.58**
	$N = 0.7854 + 0.00232T - 0.00054RH$	0.838	116.27**
Wang	$w1 = -0.196 + 0.0348\ln(RH) + 0.0238\ln(D)$	0.371	13.26**
	$w2 = -0.00085 - 0.000001T^2 - 0.000001RH^2 + 0.000582D$	0.122	2.03
Thompson	$A = -69.1 - 0.0049RH^2 + 12\ln(T) - 1.35D + 8.65\ln(RH)$	0.956	235.70**
	$B = 49 - 17.7\ln T - 0.00225RH^2 + 0.205RH + 0.312T$	0.588	15.35**

D : Diameter of mushroom(cm)

T : Drying air temperature(°C)

RH : Relative humidity(%)

따라서 표고버섯의 품질요인중 중요한 요인의 하나인 외부색택은 높은 상대습도에서는 흑갈색으로 변하므로 높은 상대습도 조건에서의 건조는 표고버섯의 품질면이나 건조에너지면으로 볼때도 반드시 피해야 할것으로 사료된다.

건조모델

표고버섯 갖의 직경과 건조온도, 상대습도를 함수로 하여 표고버섯의 건조속도를 예측하기 위한 각 모델의 매개변수에 대한 분석결과는 Table 3과 같다.

Table 3에서와 같이 각 모델의 매개변수에 대한 식들에서 Wang모델의 매개변수 w_2 만 유의성이 인정되지 않았고 나머지 변수들은 대부분 고도의 유의성이 인정되었다. 따라서 Wang모델을 제외하고, 각 건조모델의 매개변수들에 대한 식을 각 모델에 대입하여 전체 48개 시험구에 대한 분산분석과 실측 함수율과 각 건조모델 들에 의한 예측함수율 사이의 평균 상대오차율(P)은 Table 4와 같다.

Table 4. Mean square errors and mean relative percentage deviation(P) of the drying models including factors of diameter of mushroom, drying temperature and relative humidity

Model	Mean Square Error	R ²	F	P(%)
Exponential	0.00477	0.984	48562**	13.59
App.-Diffusion	0.10006	0.668	942**	70.85
Page	0.00512	0.983	27140**	16.78
Thompson	0.00792	0.975	10863**	15.94

Table 4에서와 같이 모든 건조모델에서 고도의 유의성이 인정되었으나 유사확산모델에 의한 예측

은 모든 시험구에서 대, 중, 소편 표고버섯 간에 변별력이 뚜렷하지 않을 뿐만 아니라 전체적으로 실측값보다 낮게 예측하고 특히 건조초기 6~7시간까지 건조가 급속히 이루어지고 이후 완만한 건조율로 건조되는 것으로 예측하여 표고버섯 갖의 직경요인을 포함하여 표고버섯의 건조속도를 예측할 수 있는 건조모델로는 적합하지 않은 것으로 나타났다.

Page 모델의 경우 대부분의 시험구에서 비교적 예측을 잘하였으나 30°C와 40°C의 낮은 온도이면서 75%의 높은 상대습도 조건에서 함수율비를 너무 높게 예측하는 경향을 보여 실험조건 전 구간을 예측하기에는 부적합한 것으로 판단되었다.

따라서 표고버섯의 건조모델로서 직경요인까지 포함한 건조모델로서는 Exponential 모델과 Thompson 모델이 적합한 것으로 나타났으며, Table 4에서와 같이 잔차의 평균평방이 Exponential 모델이 Thompson 모델에 비해 월등히 적을 뿐만 아니라 함수율 예측의 평균상대오차율에서 Exponential 모델이 약 3% 정도 오차가 적은 것으로 볼 때 Exponential 모델이 Thompson 모델보다 좀더 우수하게 예측하는 것으로 판단된다.

Fig. 7과 8은 각각 Exponential 모델에 의하여 40°C, 60%의 상대습도에서 건조한 대편, 중편, 소편의 함수율비와 50°C, 30%, 45%, 60%의 건조조건에서 중편크기의 표고버섯의 함수율비를 예측한 그림이다. Thompson 모델에 의하여 40°C, 상대습도 45, 60, 75%의 건조조건에서 중편크기의 표고버섯의 함수율비를 예측해 본 그림과 50°C, 75%의 상대습도에서 대편, 중편, 소편크기의 표고버섯의 함수율비를 예측해 본 그림은 각각 Fig. 9, 10과 같다.

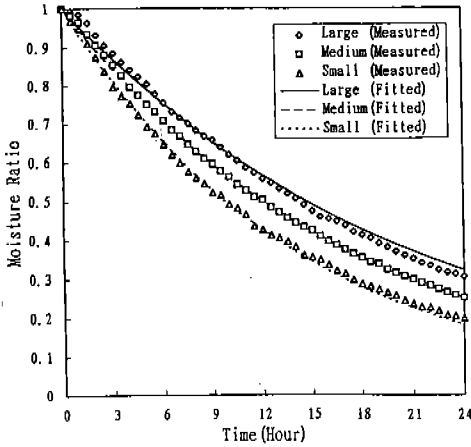


Fig. 7. Measured and fitted moisture ratios with Exponential model for each size mushroom at 40°C and 60% RH.(Variables included are diameter of mushroom, drying temperature and relative humidity.)

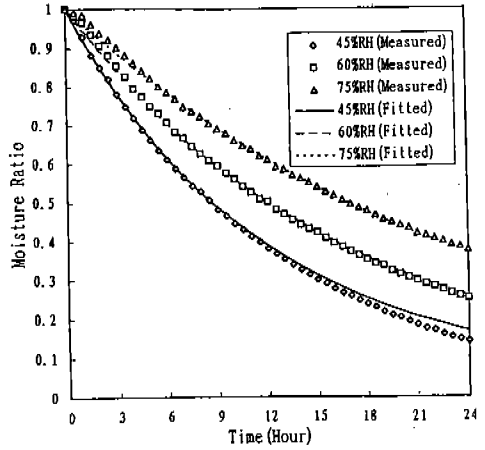


Fig. 9. Measured and fitted moisture ratios with Thompson model for medium-sized mushroom at 40°C(Variables included are diameter of mushroom, drying temperature and relative humidity.)

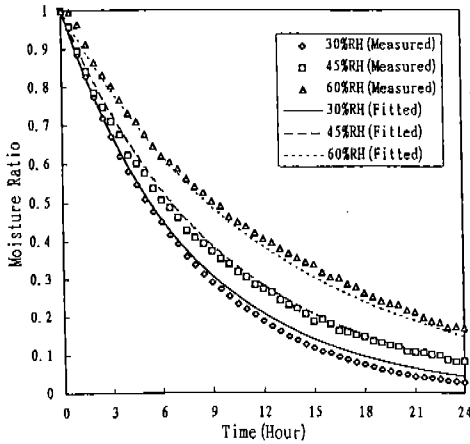


Fig. 8. Measured and fitted moisture ratios with Exponential model for medium-sized mushroom at 50°C(Variables included are diameter of mushroom, drying temperature and relative humidity)

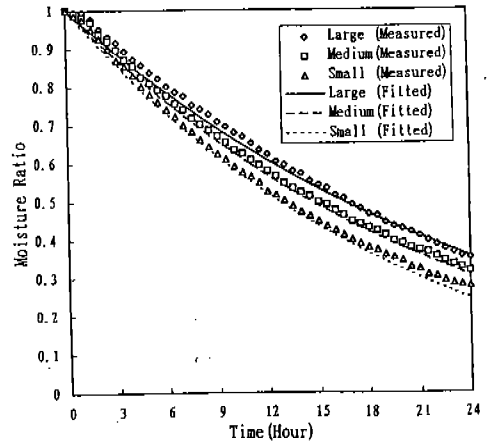


Fig. 10. Measured and fitted moisture ratios with Thompson model for each size mushroom at 50°C and 75% RH(Variables included are diameter of mushroom, drying temperature and relative humidity.)

적 요

표고버섯을 수확하여 상품화 및 장기저장을 위해서는 건조과정이 필요한데 효율적인 건조방법을 개발하기 위해서는 건조특성과 건조모델에 관한 연구가 필수적이다. 그러나 이제까지 건조온도에 따른 표고버섯의 건조특성과 건조모델 등에 관한 연구가 일부 수행되었으나 건조공기의 온도와 습도조건에 따른 건조특성과 표고버섯의 크기까지

고려한 연구는 수행된바 없다.

따라서 본 연구에서는 온도 4수준(30, 40, 50, 60°C)과 상대습도 4수준(30, 45, 60, 75%), 표고버섯 갓의 직경 3수준(대편, 중편, 소편)에서 건조실험을 실시하여 건조특성을 구명하고 기존의 5개의 농산물 건조모델의 매개변수에 관한 식을 건조온도, 상대습도, 직경 등의 함수로 개발하여 건조속

도를 예측하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1) 건조공기의 온도가 높으며 상대습도가 낮을수록 건조속도가 빨라지며, 30℃에서 60℃까지의 건조온도에서 건조온도가 증가할수록 온도증가의 효과가 감소하였다.

2) 건조공기의 상대습도가 60% 이하로 아주 낮지 않는한 건조속도에 미치는 상대습도의 영향이 크지 않았으나 75%의 상대습도에서는 건조속도를 현저히 감소시켰다.

3) 표고버섯의 외부색택은 높은 건조온도이면서 상대습도가 높아질수록 흑갈색으로 변하는 정도가 심하다.

4) 건조모델의 매개변수를 표고버섯 갖의 직경, 건조온도, 상대습도의 함수로 나타낼 경우 Exponential 모델과 Thompson 모델이 적합한 것으로 나타났다. 두 모델중 Exponential 모델이 오차가 약간 적었다.

Exponential 모델 : $MR = \exp(-k \cdot t)$

$k = 0.16052 - 0.00171RH + 0.00217T - 0.0433 \ln(D)$

Thompson 모델 : $t = A \cdot \ln(MR) + B \cdot [\ln(MR)]^2$

$A = -69.1 - 0.0049RH^2 + 12 \ln(T) - 1.35D + 8.65 \ln(RH)$

$B = 49 - 17.7 \ln T - 0.00225RH^2 + 0.205RH + 0.312T$

감사의 글

본 연구는 1996년도 교육부 학술연구조성비(지역개발연구)에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. MINITAB(1994) MINITAB Reference Manual Release 10 for Windows. Minitab Inc.
2. Page, C.(1949) Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers. M. S. Thesis. Purdue University.
3. Thompson, T. L., R. M. Peart and G. H. Foster(1968) Mathematical simulation of corn drying - a new model. TRANSACTIONS of the ASAE 11(4), 582-586.
4. Wang, C. Y. and R. P. Singh(1978) A single layer drying equation for rough rice. ASAE TECHNICAL PAPER NO. 78-3001, 1-21.
5. 고헌균, 금동혁, 김만수, 노상하, 문성홍, 박경규, 장동일(1990) 농산가공기계학. 향문사
6. 농림수산부(1995) 농림수산통계연보. 244-255.
7. 유재복(1986) 실용버섯재배. 선진문화사.
8. 이지열(1980) 균학 버섯재배. 대광문화사.
9. 최병민(1992) 인삼의 평형함수를 및 건조모델. 박사학위논문. 전북대학교 대학원.

(1997년 10월 30일 접수)