

건조방법에 따른 표고버섯분말의 흡습특성

고재우·이원영*·이준호**·하영선**·최용희
경북대학교 식품공학과, *경북대학교 농업과학기술연구소
**대구대학교 식품공학과

Absorption Characteristics of Dried Shiitake Mushroom Powder Using Different Drying Methods

Jae-Woo Ko, Won-Young Lee*, Jun-Ho Lee**,
Young-Sun Ha** and Yong-Hee Choi

Department of Food Science and Technology, Kyungpook National University
*Institute of Agricultural Science and Technology, Kyungpook National University
**Department of Food Science and Technology, Taegu University

Abstract

In this study, shiitake mushrooms were dried by hot air, vacuum and freeze drying methods and their physical properties were compared. Since the pore size affects the amount of absorption, the characteristics of water sorption were investigated at various humidities and temperatures. Results showed that the freeze dried product had the greatest pore area and the highest absorption capacity. However, all the dried samples showed similar quality. The browning degrees were severely changed with increased relative humidities and temperatures. Among these drying methods, the freeze drying gave the greatest change in browning degree. The GAB monolayer moisture contents of the dried shiitake mushroom were 5.3~7.7%. The prediction model was also provided using parameters such as relative humidity, temperature and pore area.

Key words: shiitake mushroom, drying, physical properties, prediction model

서 론

버섯은 단백질, 당질, 무기질 및 각종 아미노산과 비타민 등을 고루 갖춘 영양식품일 뿐만 아니라 각종 효소를 함유하고 있어 소화성이 높은 식품으로 인식되고 있으며, 최근에는 항산화, 항균 및 항암 효과에 대해서도 알려지고 있다^(1,2).

표고버섯(*Lentinus edodes*)은 담자균류 느타리과 잣버섯속으로 분류되고, 우리나라를 비롯하여 일본, 중국, 대만 등의 동아시아로부터 동남아시아에 걸쳐 생산되고 있다. 표고버섯은 일반적으로 비만, 고혈압, 당뇨병, 동맥경화 등의 성인병을 예방하고, 암세포의 증식을 억제하는 작용이 있는 것으로 널리 알려져 있으며, 나아가서 각종 미네랄과 식이섬유를 포함하고 있는 저칼로리성 건강식품이라는 것이 밝혀졌다. 우리

나라에서의 생산현황으로는 지금까지 계속 증가하고 있는 추세이며, 97년 연간 표고버섯이 2만5천94톤 가량 생산되었다^(3,4).

생표고버섯을 채취하여 방치하면 스스로 용화 현상을 일으켜 맛을 잃게 되므로, 즉시 요리하지 않으면 표고버섯 본래의 맛을 잃게 된다. 그러므로 표고버섯을 장기간 보존하고자 할 때는 건조가 불가피하며, 또한 건조시키면 독특한 맛과 향이 생기게 되며, 맛과 향의 변화 없이 장기간 보존할 수 있다^(3,5). 그러나, 건조분말식품의 경우 건조가 아무리 잘 되었다하더라도 저장 조건에 따라 품질이 달라지며, 대기중의 수분을 흡습하여 건조식품의 품질에 영향을 주게 된다. 따라서 건조식품의 저장 안정성을 높이기 위한 흡습에 관한 연구가 절실히 요구되고 있다. 그러나 흡습은 식품의 종류와 성분 구성, 모양, 크기 등에 따라 달라지며, 또한 같은 식품일지라도 저장 상대습도와 온도, 가공 형태에 따라 서로 달라지기 때문에 흡습특성에 대한 정확한 연구는 어려운 실정이다^(6,7,8). 그리고, 현재까지

Corresponding author: Yong-Hee Choi, Department of Food Science and Technology, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea

흡습에 관한 연구로는 상대습도와 온도의 변화에 따른 평형수분함량의 변화와 예측식, 흡습속도, 등은 흡습곡선 등의 보고^(6,13) 및 김⁽¹⁴⁾에 의한 식품분말입자의 유동 및 흡습특성을 조사한 보고, 분말 입자의 크기에 따른 흡습 특성의 변화 등에 관한 보고⁽¹⁵⁾ 등 비교적 많이 있다. 그러나 흡습에 영향을 미치는 요인 중 크기, 형태 등에 따른 것은 궁극적으로 분말내부 구조의 pore size의 차이 때문인 것으로 보이나 여기에 따른 흡습특성에 관한 보고는 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 현재 천연조미료 및 부침가루제품으로 소비량이 늘고 있는 표고버섯을 이용하여 상업적으로 널리 사용하고 있는 건조방법인 열풍건조, 진공건조와 동결건조로 건조시켜 분말화 하였다. 그리고 건조 방법에 따른 각 분말의 조직 구조와 물리적 특성치인 pore area, porosity, density 등을 측정하고 여기에 따른 품질변화 및 흡습 특성을 살펴보고자 하였다. 그리고 흡습특성중 저장 안전 수분을 결정하기 위해 단분자층 수분함량을 구하고 흡습에 필요한 에너지를 건조방법별로 비교해보고자 하였다. 또한 이러한 결과를 토대로 표고버섯의 평형수분함량을 예측하기 위해 지금 까지 널리 알려진 여러 모델 식과의 적합성을 검토하고자 하였다. 그리고 이러한 모델식들은 상대습도만으로 평형수분함량을 예측한 식이기 때문에 이를 조금 더 간편화하고자 상대습도와 온도 및 pore size도 변수로 사용하여 상관관계를 구하고, 흡습량을 예측하기 위한 회귀식을 도출하여 표고버섯 뿐만 아니라 다른 분말식품에도 응용할 수 있고, 표고버섯분말의 저장 안전성을 위한 적정 포장 및 저장 조건의 설정을 위한 기초 자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

시료

본 실험에 사용된 표고버섯은 상주 부근의 농원에서 1998년 4월경에 재배한것을 구입하여 사용하였다. 그리고 다음과 같은 건조방법별로 건조한 후 분쇄하여 106~150 μm 체를 통과한 것을 시료로 정하였다.

열풍건조: 열풍건조는 hot air dry oven (C-DM3, Jeil Tech, Korea)을 이용하여 50°C에서 더 이상 수분의 변화가 없을 때까지 건조하였다^(16,17).

진공건조: 진공건조는 vacuum dry oven (OVL-570, Gallen Kamp Co., England)을 이용하여 50°C, 70 mmHg에서 더 이상 수분의 변화가 없을 때까지 건조하였다.

동결건조: Deep freezer를 이용하여 -55°C에서 24시간 동안 동결시킨 후 동결건조기(T.D5070 RR, Ilshin

Lab Co., Korea)를 사용하여 10 mmHg에서 더 이상 수분의 변화가 없을 때까지 건조하였다.

조직구조의 관찰

건조방법별 분말의 미세조직구조 관찰을 위하여 분말 시료를 gold ion coating한 후 주사전자 현미경 (Scanning electron microscope, Hitachi S-4100, Japan)으로 관찰하였다.

물리적 특성

건조 분말의 물리적 특성치인 total pore area, average pore diameter, bulk density, porosity 등을 측정하기 위하여 수은압입법을 사용하는 porosimeter (Poresize 9320 Micrometrics Co., USA)를 이용하였다.

일반성분 분석

건조 방법별 성분변화조사를 위해 분말표고버섯의 일반성분 분석을 AOAC표준 시험방법⁽¹⁸⁾에 준하여 실시하였다.

핵산 분석

건표고버섯의 맛 성분을 분석하기 위해 20 mL의 차거운 10% perchloric acid에 표고버섯분말을 300 mg섞어서, 2분동안 homogenizer로 20,000 rpm에서 교반 후 이 현탁액을 10분 동안 6,000 rpm으로 원심 분리하였다. 5 mL의 상청액은 5 N KOH로 pH 6.5로 고정하여 12시간 방치 후 그 용액을 10분간 10,000 rpm으로 원심분리하고, 이 상청액을 HPLC로 분석하였다⁽⁹⁾. 분석조건은 Table 1과 같았다.

총페놀의 함량 측정

총페놀 함량은 페놀성 물질이 phosphomolybdic acid와 반응하여 청색을 나타내는 현상을 이용한 Folin-Denis법을 이용하였다. 즉, 100 mL 메스플라스크에 건시료의 물 추출물 5 mL와 증류수 75 mL를 넣고 잘

Table 1. Conditions for HPLC analysis of nucleotides and their related compounds of dried shitake mushroom powder

Items	Conditions
Column	μ -Bondapak C ₁₈ (3.9 mm i.d. \times 30.0 cm)
Mobile phase	1% triethylamine·phosphoric acid (pH 6.5)
Flow rate	2.0 ml/min
Chart speed	0.5 cm/min
Detector	UV detector (254 nm)
Temperature	40°C

혼합한 후, Folin-Denis시약 5 mL와 15% 탄산나트륨 용액 10 mL를 차례로 넣은 다음, 증류수로 100 mL 정용하였다. 상온에서 1시간 정치시킨 후 760 nm에서 흡광도를 측정하였다. 측정된 흡광도는 tannic acid를 이용하여 작성한 표준곡선으로부터 mg% tannic acid 당량으로 환산하였다.

갈변도의 측정

저장 중 표고버섯 분말의 갈변도를 조사하기 위해서 건조버섯 1 g에 증류수 40 mL를 가하고 10% trichloro acetic acid 용액 10 mL를 가하여 상온에서 2시간 방치 한 후 여과하여 spectrophotometer로 420 nm에서 흡광도를 측정⁽²⁾하였다.

흡습특성변화

Rockland 등의 방법⁽²⁰⁾에 준하였다. 즉 알루미늄 용기에 약 2g의 표고버섯분말을 담고 이를 상대습도 11~84%를 유지하는 포화 염용액이 들어있는 데시케 이터에 넣은 후 5, 20, 35°C의 항온기 내에 저장하였다. 저장 중 24시간 간격으로 시료를 꺼내어 수분 함량을 측정하였으며, 이 무게를 달아 최초의 수분함량을 기준으로 무게의 증감량에서 평형수분함량을 구하였다.

단분자층 수분함량의 측정

단분자층 수분함량을 산출하기 위하여 다음과 같은 Guggenheim-Anderson-Boer (GAB)식을 이용^(8,21)하였다.

$$m = \frac{m_1 CkAw}{(1 - kAw)(1 - kAw + CkAw)}$$

- 여기서, Aw : 수분 활성도
- m : 평형수분함량
- m₁ : 단분자층 수분함량
- C, k : 상수

흡습엔탈피의 결정

평형수분함량에 도달하는데 필요한 흡습엔탈피 ΔHs 는 Clausius-Clapeyron의 변형식을 이용^(12,14)하였다.

$$- \ln P = \frac{\Delta H_s}{RT}$$

- 여기서, lnP : 주어진 온도(T)에서 평형상태의 수증기 부분압에 대한 자연대수
- ΔHs : 흡습엔탈피(kcal/mol)
- R : 기체상수(1.987 cal/mol·K)
- T : 절대온도(K)

Table 2. Water sorption isotherm equations to fit dried shiitake mushroom powder

Reference	Equation
Iglesias & Chirife ⁽¹³⁾	$\ln(M + \sqrt{M^2 + M_{0.5}}) = bAw + p$
Bradley ⁽¹³⁾	$\ln \frac{1}{Aw} = K_2 K_1^M$
Kuhn ⁽¹³⁾	$M = \frac{a}{\ln Aw} + b$
Caurie ⁽¹³⁾	$\ln M = \ln A - rAw$
Halsey ⁽¹³⁾	$Aw = \exp(-a/M^n)$
Henderson ⁽¹³⁾	$1 - Aw = \exp(-KM^n)$
Oswin ⁽¹³⁾	$M = a \left(\frac{Aw}{1 - Aw} \right)^b$
Mizrahi ⁽¹³⁾	$Aw = \frac{b + M}{a + M}$

M: Equilibrium moisture content
 Aw: Water activity
 M_{0.5}: M at Aw=0.5
 Other Alphabet: Constants

등온흡습곡선 모델식의 적합성

표고버섯분말에 대해 지금까지 연구된 모델식들중 식품의 특성에 따라 가장 적합성이 높은 다음의 식들을 Table 2에 나타내었다. 그리고 어떤 식이 표고버섯에 가장 적합한지를 살펴보았다⁽¹³⁾. 등온흡습곡선모델과 실험식과의 편차P(%)는 다음 식에 의해 계산되었다.

$$P(\%) = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Mi - Mi^*|}{Mi}$$

여기서 Mi는 실험식의 수분함량이고 Mi*는 등온흡습 곡선상의 수분함량이며 n은 실험데이터의 갯수이다.

흡습량 예측모델 회귀식 도출

SPSS의 Regression Package Program을 이용하여 상대습도와 온도, porosity와 pore area를 독립변수, 흡습량을 종속변수로 하여 회귀분석을 실시하여 상관관계를 분석하였고, 표고버섯분말에 대한 평형수분함량 예측을 위한 회귀식을 도출하였다.

결과 및 고찰

조직구조 관찰

아래에 나타난 Fig. 1은 각 건조방법별로 건조한 후 분말화한 표고버섯분말을 주사현미경을 통해 조직 구조를 관찰한 것이다. 그림에서 보듯이 진공건조한 시료가 열풍 건조한 시료보다 초기 건조속도가 빠르기 때문에 수축이 적고 조금 더 다공성 구조를 보여주었

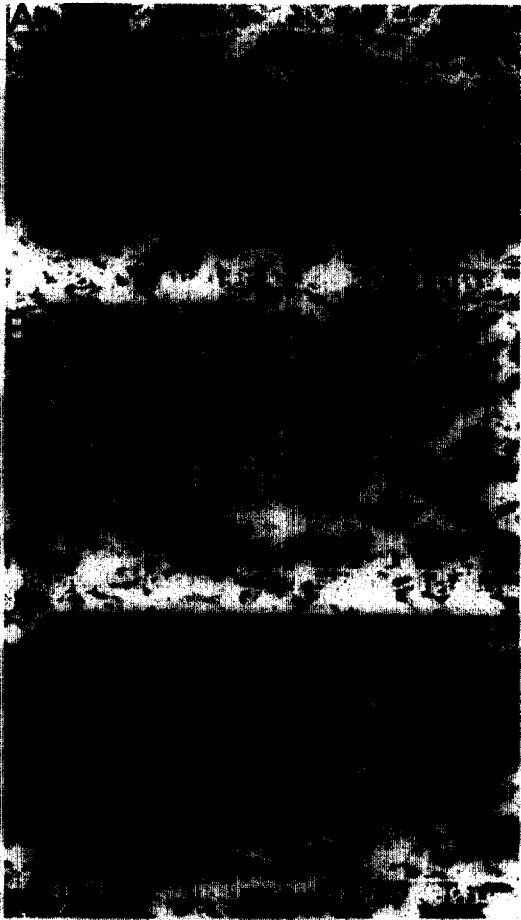


Fig. 1. Scanning electron microscopic photographs of shiitake mushroom powder by various drying methods. A: Hot air drying, B: Vacuum drying, C: Freeze drying

다⁶⁾. 그리고 동결건조한 시료는 승화에 의한 수분건조 때문에 다른 시료보다 다공성인 구조를 보여주었다.

건조 방법에 따른 물리적 특성 변화

건조 방법에 따른 물리적 특성의 변화를 Table 3에 나타내었다. 분말 표고버섯은 다공질의 입자 형태로 각 건조방법별로 다른 물리적 특성을 보여주고 있다. 먼저 열풍건조한 시료는 공극률이 34.1%로 다른 건조 방법에 비하여 가장 낮은 공극률을 보여주고 있는데, 이는 진공건조와 비교하면 수분의 건조시에 열에 의한 수축이 일어나며, 초기 건조속도가 빠를수록 수축이 적게 일어남을 의미한다⁶⁾. 열풍건조는 진공건조보다 건조속도가 느리므로 밀도가 0.4228 g/mL로 가장 높은 밀도를 보여주며 이는 공극률이 적음을 의미하는 것이다. 그리고 이와 같은 결과로 공극이 가장 적

Table 3. Physical properties of dried shiitake mushroom powder by different drying methods

	Hot air drying	Vacuum drying	Freeze drying
Total pore area	3.13 m ² /g	6.28 m ² /g	11.57 m ² /g
Average pore diameter	13569 Å	8480 Å	5157 Å
Bulk density	0.4228 g/mL	0.3881 g/mL	0.3669 g/mL
Porosity	31.4%	40.1%	53.4%

기 때문에 전체 공극면적은 3.13 m²/g이었다. 다음으로는 진공건조한 시료는 열풍건조보다 초기 건조 속도가 빠르기 때문에 수축현상이 적게 일어났고 적은 밀도값을 보여주었다. 즉 0.3881 g/mL의 밀도를 가지므로 열풍건조보다 공극이 많으며 공극률은 40.1%로 높아졌으며, 이러한 공극이 높아졌기 때문에 전체 공극면적은 열풍건조보다 높은 6.28 m²/g의 값을 보여주었다. 마지막으로 동결건조한 시료는 수분의 건조시 먼저 냉동상태에서 수분을 제거하므로 수분의 증발은 승화에 의하여 건조가 이루어진다. 이와 같은 연유로 동결건조한 제품이 가장 높은 공극을 지니고 있다²⁾. 따라서 밀도는 가장 낮아져 0.3669 g/mL의 값을 가지며 공극률은 53.4%로 가장 높고 전체 공극 면적은 11.57 m²/g의 값을 가지고 있다. 이러한 결과는 Yang 등의 보고²⁾와 비슷한 경향을 나타내었다.

일반성분

본 실험에서 사용한 분말표고버섯의 일반성분은 아래의 Table 4와 같다. 건조방법에 따라 성분조성이 조금씩 차이는 있으나, 대체적으로 큰 차이는 나지 않았으며, 수분함량에서 동결건조한 것이 5.12%로 가장 낮았고 열풍건조한 것이 6.81%로 가장 높았다.

핵산의 분석

표고버섯에 있어서 핵산관련물질은 정미성분으로 중요하므로, HPLC를 이용하여 핵산을 분석한 결과를 Table 5에 나타나 있다. 표고버섯의 맛 성분중 표준물질로는 Adenosine 5'-Monophosphate (5'-AMP), Guanosine 5'-Monophosphate(5'-GMP) 및 Xanthosine 5'-Monophos-

Table 4. Proximate composition of dried shiitake mushroom powder by different drying methods (unit: %)

	Moisture	Fat	Protein	Carbohydrate	Ash
Hot air drying	6.81	1.89	17.35	70.07	3.88
Vacuum drying	5.36	1.76	17.84	70.76	4.28
Freeze drying	5.12	1.76	18.12	69.98	4.01

Table 5. Nucleotides contents of dried shiitake mushroom powder for different drying methods by HPLC analysis

	Nucleotide (mg%)		
	5'-AMP	5'-GMP	5'-XMP
Hot air drying	19.79	6.17	26.42
Vacuum drying	20.14	6.54	21.58
Freeze drying	15.62	3.14	29.61

5'-AMP: Adenosine 5'-Monophosphate

5'-GMP: Guanosine 5'-Monophosphate

5'-XMP: Xanthosine 5'-Monophosphate

phate (5'-XMP)를 사용하여 표준곡선을 작성한 후 각 건조 방법별로 분석하였다. 이때 생 표고버섯의 5'-AMP, 5'-GMP 및 5'-XMP는 각각 14.37, 2.54, 24.5 mg%이었다. 열풍건조, 진공건조와 동결건조 모두다 5'-GMP가 가장 낮은 양을 나타내고 다음으로 5'-AMP와 5'-XMP순으로 나타났다. 이러한 핵산 관련물질의 경우 5'-GMP가 가장 강한 맛을 나타내며 5'-XMP가 가장 약한 맛을 나타낸다고 하는데⁽²⁾, 여기서는 5'-XMP가 가장 높은 수치를 나타내고 있다. 그리고 건조 방법별로는 진공건조에서 5'-GMP와 5'-AMP가 가장 높은 함량을 나타내며, 5'-XMP의 경우는 가장 낮은 함량을 나타내었다. 이는 백 등⁽⁹⁾의 건조방법에 따른 표고버섯의 품질변화에서의 결과와 유사하였다.

총페놀 함량

일반적으로 페놀성 물질은 약리성분으로 알려져 있으며, 표고버섯분말의 총 페놀 함량을 건조 방법 별로 건조하여 건물질 기준으로 비교 분석한 것을 Table 6에 나타내었다. 각 함량은 열풍 건조한 것이 27.96 mg%이고 다음으로는 진공 건조한 것이 28.83 mg%이며, 동결 건조한 것이 29.78 mg%으로 가장 높은 함량을 보여주고 있다. 그러나 각 시료별 함량의 차이는 크게 나타나지 않는 것으로 보이며 건조 방법에 따른 함량을 변화는 크게 살펴볼 수 없었다.

Table 6. Total phenol contents of dried shiitake mushroom by different drying methods

	Total phenolics (mg%)
Hot air drying	27.96
Vacuum drying	28.83
Freeze drying	29.78

갈변도

식품의 갈변은 온도 및 수분함량에 따라서 큰 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 따라서 저장전 시료와 각 저장 온도와 상대습도별 갈변도의 정도를 흡광도를 이용하여 측정하였다. Table 7은 5, 20°C와 35°C에서 열풍건조, 진공건조 그리고 동결건조한 버섯분말을 평형수분 상태에서 갈변도를 측정 한 것으로 온도별로는 35°C에서 저장한 것이 가장 높은 갈변정도를 보여주고 있으며 건조 방법별로는 동결건조한 시료가 가장 갈변이 심한 것을 알 수 있다. 이와 같은 이유는 가장 갈변에 영향을 미치는 것은 상대습도로서 수분이 증가할수록 급격히 갈변도가 증가하기 때문에 수분흡수를 가장 많이 하는 동결 건조가 가장 많은 변화를 보여주는 것으로 사료된다. 이러한 결과는 갈변이 상대습도 60-80%사이에서 가장 많이 일어나기 때문이라고 보여지며, 김 등⁽¹⁰⁾의 마늘가루의 갈변 및 흡수 특성에서 나타나는 갈변도가 35°C 이상에서 증가폭이 현저하였다는 결과와 유사하게 나타났으며, 박 등⁽⁹⁾의 표고버섯의 열풍 건조특성에서 상대습도가 높을수록 갈변도가 증가하는 경향을 보여준다는 결과와도 유사하였다.

평형수분함량 측정

건조식품의 안전성은 수분함량에 따라서 큰 영향을 받는 것으로 알려져 있다. Fig. 2는 5°C의 저장고 내에서 상대습도 변화에 따른 표고버섯분말의 평형수분함량에 도달하는 시간을 조사한 결과를 나타내고 있다.

Table 7. Changes of browning degree on the equilibrium moisture content of dried shiitake mushroom powder by different drying methods at various temperature

	Hot air drying			Vacuum drying		Freeze drying		
	5°C	20°C	35°C	5°C	35°C	5°C	20°C	35°C
Control		0.062			0.050			0.029
11%	0.089	0.091	0.094	0.067	0.075	0.078	0.046	0.053
32%	0.096	0.096	0.103	0.076	0.088	0.089	0.056	0.074
51%	0.097	0.106	0.109	0.083	0.098	0.102	0.065	0.089
67%	0.099	0.101	0.115	0.090	0.103	0.122	0.108	0.121
75%	0.095	0.129	0.133	0.098	0.132	0.135	0.112	0.143
84%	0.104	0.156	0.141	0.108	0.134	-	0.127	0.159

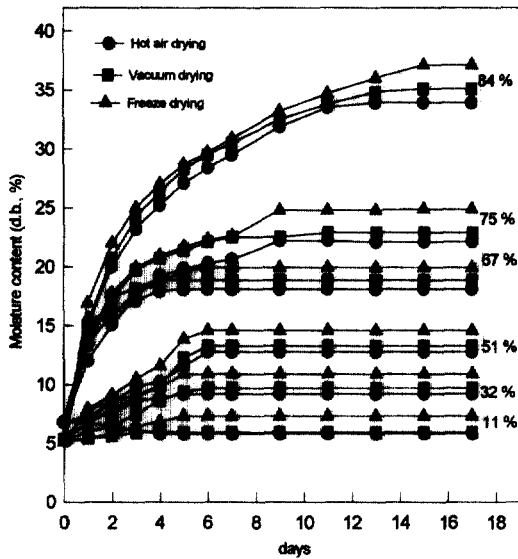


Fig. 2. Changes in moisture content of the samples under various humidities at 5°C.

Fig. 2에서 보듯이 상대습도가 증가할수록 수분 흡습량이 증가하는 경향을 알 수 있다. 그리고 낮은 상대습도에서는 수분평형 상태에 도달하는 시간이 짧은 반면에 상대습도가 증가 할 수록 평형 수분함량에 도달하는 시간이 길어짐을 알 수가 있다. 또한 저장온도별로 평형수분함량에 도달하는 기간이 각각 다른데 흡습의 경우 저장 온도가 낮을수록 평형수분함량에 도달하는 시간이 길어지는 경향을 보여주고 있다. 즉 온도가 낮을수록 흡습성이 강한 이유는 대기중의 수분용축이 온도가 높을 때 보다 용이하여 식품분말의 표면 흡습이 용이하여 평형수분함량이 더 높게 나타난 것으로 생각된다⁽⁴⁾. 이러한 경향은 Iglesias 등⁽²⁾의 보고와 비슷한 결과를 보여주었다.

Fig. 3은 각 건조방법별 등온흡습곡선을 각각 5, 20, 35°C의 저장온도별로 나타내는데, 동결건조, 진공건조, 열풍건조 순으로 흡습이 잘되는 것으로 나타났다. 흡습에 미치는 영향은 여러 가지가 있는데 위에서 살펴본 바와 같이 표고버섯을 각기 다른 방법으로 건조했을 경우 성분변화와 품질변화는 큰 차이를 나타내지 않았다. 그러므로 흡습의 차이는 각각의 물리적 특성에 따른 차이로 보여지며, 특히 물리적 특성치중 공극에 따른 차이로 사료된다. 즉 공극면적이 가장 크다는 것은 그 만큼 수분을 흡습할 수 있는 공간이 크기 때문에 동결건조에서 가장 많은 흡습량을 보여주고, 가장 공극이 적은 열풍건조가 제일 낮은 흡습량을 보여주는데, 이는 물리적 특성 중 공극률과 공극면적이

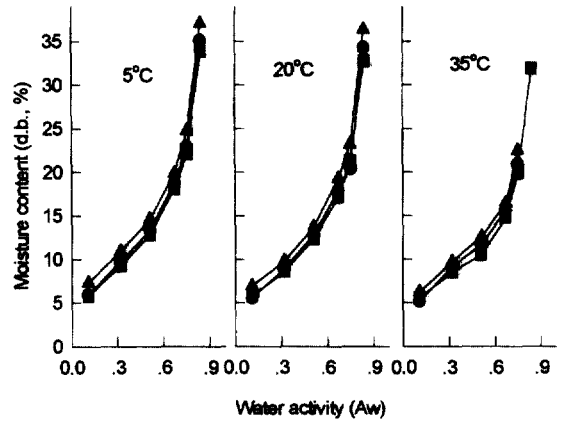


Fig. 3. The isotherm curve of shiitake mushroom by different drying methods at 5, 20 and 35°C. ■—■: Hot air drying, ●—●: Vacuum drying, ▲—▲: Freeze drying

흡습에 직접 영향을 미치며 공극이 클수록 흡습이 많이 되기 때문이다. 또한 이러한 결과로 상대습도 84%, 온도 35°C에서 저장 한 시료는 열풍건조를 제외한 진공건조와 동결건조 시료에서 곰팡이가 생성됨을 볼 수 있었는데 이는 Lim 등에 의한 보고⁽²⁾와 비슷한 결과를 보여주었다. 그리고 표고버섯분말에서 공극의 차이에 따라 같은 저장조건에서 3 m²/g정도의 공극면적 차이에서는 1%정도의 수분함량 차이를 보여주며, 5 m²/g정도의 공극면적 차이에서는 1.5%정도의 수분함량 차이를 볼 수 있었다. 이와 같은 결과는 김⁽⁴⁾의 모형식품분말의 흡습특성에서 보고한 바와 같이 동결건조한 시료의 입자구조가 다공성이라 흡습성이 더 높다는 것과 유사하였으며, 입자크기에 따른 보고에 의하면 작은 입자일수록 흡습이 크다고 했는데 이는 다시 말하면 입자가 작을수록 공극이 크다는 것을 의미하고 있으며 이와 같은 공극의 크기 차이 때문인 것으로 사료된다. 결론적으로 흡습에 가장 큰 영향을 주는 것으로는 상대습도이지만 그 외에 온도와 분말 입자의 pore size와도 상관성이 있는 것으로 보인다.

단분자층 수분함량

아래의 Fig. 4을 이용하여 다른 온도와 건조방법에서도 이와 같이 저장 적정 수분함량인 단분자층 수분함량을 구한 결과를 Table 8에 나타내었다. Fig. 4는 GAB식을 이용하여 그림을 작도한 것으로서 이차 방정식으로 나타내어지며 적용범위는 수분활성도가 0.9 까지 그 적용범위가 넓어 현재 많이 사용 된다고 한다. 한편 표고버섯분말의 초기 수분함량은 5~7%정도였으며, GAB방정식에 의하여 계산된 값은 0.0535~

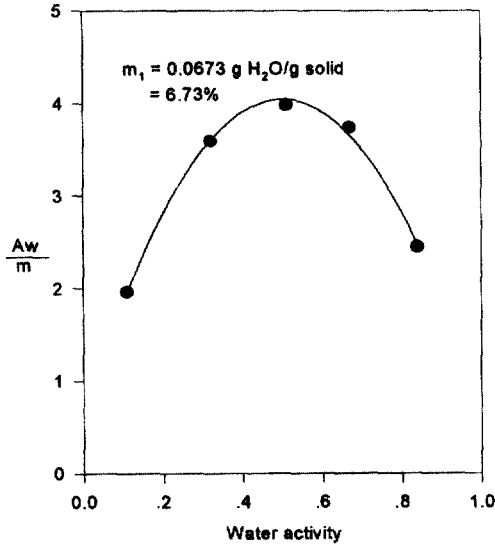


Fig. 4. GAB plot for determination of the monolayer moisture content of Hot air drying at 20°C.

Table 8. Monolayer value of dried shiitake mushroom powder by different drying methods

Drying methods	Temp.	Monolayer value (g water/g solid)
Hot air drying	5°C	0.0675
	20°C	0.0636
	35°C	0.0535
Vacuum drying	5°C	0.0726
	20°C	0.0673
	35°C	0.0621
Freeze drying	5°C	0.0773
	20°C	0.0713
	35°C	0.0648

0.0773 g H₂O/g solid의 값을 보여주고 있다. 그리고 건조 방법별로는 동결건조한 것이 가장 높은 값을 보여주며, 열풍건조한 값이 가장 낮았다. 따라서 다공성이 큰 동결건조제품의 경우는 조금 높은 수분함량에서 저장해도 무관하리라 생각된다.

흡습엔탈피

Clausius-Clapeyron의 변형식을 이용하여 식품분말의 흡습엔탈피를 구하기 위하여 Fig. 5와 같이 작도하여, 그림으로부터 흡습엔탈피를 계산한 결과 Table 9과 같다. 모든 시료에서 분말의 수분함량이 높을수록 대기중의 수분을 흡습하여 평형수분함량에 도달하는데 필요한 흡습엔탈피가 급격히 감소되는 경향을 보였다. 식품분말의 건조방법에 따라서는 수분함량 6%에서 열풍건조한 것이 2.001 Kcal/mol로서 진공건

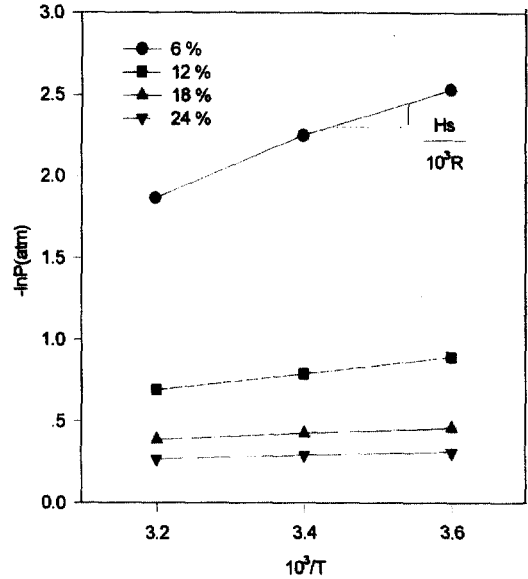


Fig. 5. Determination of enthalpy of wetting for various moisture contents of shiitake mushroom powder by freeze dring.

Table 9. Enthalpy of sorption of dried shiitake mushroom as a function of moisture content

Moisture content (% d.b.)	Enthalpy of sorption (Kcal/mol)		
	Hot air drying	Vacuum drying	Freeze drying
6	2.001	2.203	3.29
12	0.604	0.583	0.982
18	0.292	0.225	0.332
24	0.123	0.185	0.211

조한 2.203 Kcal/mol과 동결건조한 3.29 Kcal/mol보다 낮게 나타났으며 그 외에 다른 수분함량 조건에서도 비슷하게 나타났다. 이러한 결과로 볼 때 건조방법별로는 진공건조한 것이 수분을 흡습 하는데 가장 낮은 에너지를 방출하고 다음으로 열풍건조와 동결건조 순이었다. 이는 건조방법에 의해 생긴 분말입자의 공극차이 때문에 수분의 흡습력이 달라지기 때문이다. 그리고 수분함량별로는 낮은 수분 함량에서 보다 수분함량이 높을수록 낮은 흡습에너지를 방출한다고 보여진다. 이러한 경향은 Apostolopoulos 등⁽¹²⁾의 결과와 유사하게 나타났으며, 표고버섯분말과 같은 건조식품은 통상 7-8%의 수분 함량에서 저장되기 때문에 흡습성이 큰 분말을 저장할 경우 대기의 수분을 효과적으로 차단시켜 줄 수 있는 방습포장재나 적절한 저장조건을 유지해 주는 것이 바람직하다고 하겠다.

등온흡습곡선의 적합도

지금까지 발표된 등온흡습곡선모델을 요약한 8개의 식에 대해 식을 이용하여 적합성 여부를 판정한 결과는 다음 Table 9에 나타나 있다. Table 10에서 보듯이 각 시료별로 온도와 건조방법에 따라 percent 편차 P (%)로서 적합도를 표시하였는데 P(%)값은 낮을수록 높은 적합성을 나타낸다. 시료별 가장 높은 적합도를 나타낸 것은 대체로 Kuhn식이 가장 높은 적합도를 나타내었으며, 열풍건조의 경우에는 Halsey식이 가장 높은 적합도를 나타내었다. 그리고 위의 8가지 식들은 식품의 종류에 따라 적용식이 달라진다고 하였다. 예를 들면 과일이나 채소의 경우는 Halsey식이 적용도가 높고, 전분질의 식품에는 Bradley 식이 적용도가 높다고 하였다⁽¹³⁾. 본 실험에 사용한 버섯의 경우 단백질 함량이 비슷한 육류에 적용도가 높은 Khun식과 Mizrahi식이 적용도가 높았다.

흡습량 예측 회귀식 도출

흡습량에 영향을 주는 것으로는 식품의 종류 및 형

태, 크기 등이 있으며 상대습도, 온도 등에 의해서도 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 그러나 같은 종류의 식품에서 같은 형태, 크기의 식품에서도 건조 방법에 따라서 위에서 본 것처럼 물리적 특성치인 공극에 의해 흡습에 영향을 받는다. 즉 위에서 본 것과 같이 건조 방법에 따라서 화학적인 변화는 크게 나타나지 않았지만 물리적 변화는 나타났으며 여기에 따라 저장 시 흡습량도 달라졌으며 흡습량에 따라 품질변화도 일어났다. 따라서 먼저 공극과의 상관관계를 구한 값이 아래의 Table 11에 나타나있다. 상대습도의 경우 0.8961로 가장 높은 상관관계를 보여주며, 온도와 공극은 비슷한 상관관계를 보여주고 있다. 그리고 온도의 경우는 상관관계 값이 negative값을 띄고 있는데 이는 온도의 증가에 따라 흡습량이 줄어들기 때문이다. 그리고 Table 12는 흡습량에 영향을 주는 인자들을 이용하여 흡습량을 예측한 모델식을 수립한 것으로 0.989의 높은 적용도를 보여주고 있어, 이 식을 응용하여 표고버섯분말 뿐만 아니라 다른 분말식품에도 응용되어질 수 있으리라 기대된다.

Table 10. Goodness of fit, expressed as mean relative percentual deviation (P) of the various equations as applied to the experimental absorption isotherms in shiitake mushroom powder

		P* (%)							
		Bradley	Kuhn	Caurie	Halsey	Henderson	Oswin	Mizrahi	Iglesias & Chirife
Hot air drying	5°C	18.05	6.41	11.59	3.64	17.17	9.78	7.76	12.79
	20°C	20.22	6.70	14.59	6.30	18.80	11.95	4.91	15.06
	35°C	21.22	5.74	15.76	6.72	21.10	13.48	6.94	17.05
	Average	19.83	6.28	13.98	5.55	19.02	11.73	6.53	14.96
Vacuum drying	5°C	20.10	4.81	13.51	4.92	18.65	11.15	6.17	14.47
	20°C	20.09	4.99	14.23	3.96	18.64	11.61	3.52	14.67
	35°C	22.43	3.43	18.24	6.72	23.22	16.10	4.36	19.65
	Average	20.87	4.41	15.32	5.2	20.17	12.95	4.68	16.26
Freeze drying	5°C	17.13	3.90	12.27	4.62	17.30	10.57	5.07	13.10
	20°C	19.38	2.49	13.08	5.40	17.97	11.01	4.60	13.90
	35°C	19.76	4.68	15.17	6.73	20.38	13.22	5.79	16.29
	Average	18.75	3.69	13.5	5.58	18.55	11.6	5.15	14.43

*P(%): mean relative percentual deviation

$$P(\%) = \frac{100}{n} \sum_{i=0}^n \frac{|M_i - M_i^*|}{M_i}$$

M_i=experimental moisture content

M_i*=moisture content on the curve representing isotherm equations

n=number of data point

Table 11. Correlation coefficients for the equilibrium moisture content prediction by humidity, temperature and porosity

	Coefficient			
	Humidity	Temperature	Porosity	Total pore area
Equilibrium moisture content	0.8961	-0.0860	0.0887	0.0899

Table 12. Regression parameter coefficients for the prediction model of equilibrium moisture content with humidity, temperature and total pore area

	M=a/ln (H)+b ln (T)+c ln (P)+d				
	a	b	c	d	R ²
Parameter coefficients	-5.213	-1.557	0.4474	3.99	0.989

M: Moisture content (d.b., %)
 H: Relative Humidity (R.H./100)
 T: Temperature (°C)
 P: Total pore area (m²/g)
 R²: Multiple determination coefficient

요 약

현재 조미료 및 부침가루로 사용되고 있는 표고버섯분말을 사용하여 열풍건조, 진공건조, 동결건조를 이용하여 건조를 행하였다. 각 건조 방법별로 표고버섯분말은 조직구조 및 물리적 특성치인 pore size도 다르게 나타났다. 또한 건조 방법별로 품질 분석을 한 결과 일반성분에서는 초기 수분함량에서 다소 차이가 있었으나 전체적인 차이는 크게 나지 않았다. 또한 건조 표고버섯의 맛 성분인 핵산을 분석한 결과에서도 큰 차이를 나타내지 않았으며, 총페놀 함량에서도 유사한 결과를 나타냈다. 이러한 결과를 토대로 표고버섯 분말의 흡습특성을 조사한 결과 pore size가 가장 큰 동결건조에서 가장 높은 흡습량을 가져왔으며, pore size의 크기에 따라 진공건조, 열풍건조 순으로 흡습량이 많았다. 그리고 저장 온도별로는 가장 낮은 온도인 5°C에서 가장 높은 흡습을 보여주었으며, 35°C에서는 흡습량이 상대적으로 낮았다. 그러나 35°C 상대습도 84%의 저장온도에서는 진공건조 및 동결건조 시료에서 저장 11일만에 곰팡이가 생겨났으므로 평형수분함량을 측정하지 못하였다. 저장 적정 수분함량을 구하기 위해 단분자층 수분함량을 구한 결과는 동결건조한 시료가 다른 시료보다 높은 값을 나타내었고, 흡습엔탈피는 동결건조한 것이 가장 높은 값을 보여주었다. 또한 표고버섯분말의 평형수분함량 예측을 위해 현재까지 가장 적합성이 높다는 여러 가지식으로 적합성을 살펴본 결과 단백질 함량이 비슷한 Khun식과 Mizrahi 식이 적합성이 가장 높았다. 그러나 이러한 식들은 상대습도만으로 구한 값이므로 상대습도 뿐만아니라 온도 및 공극을 변수로 넣어 회귀식을 도출한 결과 R²가 0.989의 적용도가 높은 식을 구하였다.

감사의 글

이 논문은 1998학년도 대구대학교 학술연구비 지원

(혹은 일부지원)에 의한 논문으로써 이에 감사드립니다.

문 헌

- Hong, J.S.: Nutrition value and medicine efficacy of mushroom (in Korean). *Food Industry*, **53**, 79-84 (1980)
- Kwon, J.H., Byun, M.W., Cho, H.O., Kim, Y.J. and Kim, J.G.: Effect of chemical fumigant and γ-Rays on the physicochemical properties of dried oak mushrooms (in Korean). *Korean J. Food Sci. Technol.*, **19**, 273-278 (1987)
- Jo, S.S.: The latest mushroom cultivation technology and management. Ohsung Press, (1996)
- Forest office : Forestry statistics curriculum (1997)
- Park, J.D., Kang, H.A. and Chang K.S.: Hot air drying characteristics of oak mushroom by microcomputer control system (in Korean). *Korean J. Food Sci. Technol.*, **28**, 72-76 (1996)
- Song, J.C. and Park, H.J.: Food rheology. Ulsan univ. Press, (1995)
- Peleg, M.: Physical characteristics of food powders. In *Physical Properties of foods*, Peleg, M. and Bagley, E. B. (Ed.), AVI Pub. Co., Inc., Westport, CT, p.293-323 (1983)
- Rhaman, S.: Food properties handbook. CRC Press, Inc., (1995)
- Kim, H.K., Park, M.H., Min, B.Y. and Suh, K.B.: Sorption characteristics of red pepper powder with relative humidity and temperature (in Korean). *Korean J. Food Sci. Technol.*, **16**, 108-112 (1984)
- Hwang, E.S., Lee, C.W., Yu, J.H. and Lee, S.Y.: Kinetic study for hygroscopic behavior of freeze dried soy paste powder (in Korean). *Korean J. Food Sci. Technol.*, **19**, 231-238 (1987)
- Kim, H.K., Jo, K.S., Hawer, W.S. and Shin, D.H.: Browning and sorption characteristics of garlic powder with relative humidity and storage temperature (in Korean). *Korean J. Food Sci. Technol.*, **20**, 399-404 (1988)
- Apostolopoulos, D. and Gilbert, S.G.: Water sorption of coffee solubles by frontal inverse gas chromatography: Thermodynamic considerations. *J. Food Sci.*, **55**, 475-477 (1990)
- Boquet, R., Chirife, J. and Iglesias, H.A.: Equations for fitting water sorption isotherms of foods. *J. Food Technol.*, **13**, 319-329 (1978)
- Kim, D.W.: A study on the flowability and absorption of model food powders. *Ph.D. Thesis*, Chungnam Univ., Korea (1992)
- Cadden, A.M.: Comparative effects of particle size reduction on physical structure and water binding properties of several plant fibers. *J. Food Sci.*, **52**, 1595-1599 (1987)
- Suguna, S., Usha, M., Sreenarayanan, V.V., Raghupathy, R. and Gothandapani, L.: Dehydration of mushroom by sun-drying, thin-layer drying, fluidized bed drying and solar cabinet drying. *J. Food Sci. Technol.*, **32**, 284-288 (1995)
- Baek, H.H., Kim, D.M. and Kim, K.H.: Changes in

- quality of shiitake mushroom by different drying methods (in Korean). *Korean J. Food Sci. Technol.*, 21, 145-148 (1989)
18. A.O.A.C.: *Official Methods of Analysis*, 15th ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington D.C., (1990)
 19. Lee, E.H., Koo, J.G., Ahn, C.B., Cha, Y.J. and Oh, K. S.: A rapid method for determination of ATP and its related compounds in dried fish and shellfish products using HPLC (in Korean). *Bull. Korean Fish. Soc.*, 17, 368-372 (1984)
 20. Rockland, L.B.: Introduction, in *Water activity: Theory and applications to Food*, Rockland, L.B. and Beachat, L.R., Eds., Marcel Dekker, Inc., N.Y., (1987)
 21. Labuza, T.P., Kaanane, A. and Chen, J.Y.: Effect of temperature on the moisture sorption isotherms and water activity shift of two dehydrated foods. *J. Food Sci.*, 50, 385-391 (1985)
 22. Paakkonen, K. and Roos, Y.H.: Effect of drying conditions on water sorption and phase transitions of freeze-dried horseradish roots. *J. Food Sci.*, 55, 206-209 (1990)
 23. Yang, C.S.T. and Atallah, W.A.: Effect of four drying methods on the quality of intermediate moisture lowbush blueberries. *J. Food Sci.*, 50, 1233-1237 (1985)
 24. Iglesias, R.A. and Chirife, J.: Technical note: Correlation of BET monolayer moisture content in foods with temperature. *J. Food Technol.*, 19, 503-506 (1984)
 25. Lim, E.T., Tang, J. and He, J.: Moisture sorption characteristics of freeze dried blueberries. *J. Food Sci.*, 60, 810-813 (1995)

(1998년 9월 28일 접수)