

# 표고버섯의 흡습 평형함수율

## Adsorption Equilibrium Moisture Content of Shiitake Mushroom(*Lentinus edodes*)

최병민\*                  홍지형\*                  서재신\*\*  
정희원                  정희원

B. M. Choi              J. H. Hong              J. S. Seo

### 1. 서론

표고버섯의 재배는 농촌부업 뿐만 아니라 농한기의 노동력 이용면에서 유리하고, 영양학적으로 혈압강하물질, 빈혈치료물질, 제암물질 등이 함유되어 있음이 밝혀져 영양식품, 또는 건강식품으로 그 진가를 더욱 평가받게 되었으며 주로 동양에서 많이 소비되었으나 서양에서도 소비가 증가하여 수요는 날로 증가하고 있어 표고재배 사업의 전망은 매우 밝다(이, 1982). 그러나 아직까지 고품질 버섯의 생산이나 버섯의 상품성을 높이기 위한 연구들은 미흡한 실정이다. 국내의 표고버섯은 생산량의 50% 이상이 건조되어 유통되므로 표고버섯의 건조특성에 관한 연구는 필수적이며 특히 건조 뿐 아니라 가공 및 저장의 가장 기초적인 자료로 이용되는 평형함수율에 관한 명확한 구멍이 요구된다.

본 연구의 목적은 표고버섯의 건조, 가공 및 저장의 기초 자료로 이용될 수 있는 흡습 평형함수율을 구명함과 아울러 기 발표된 표고버섯의 방습 평형함수율(최 등, 1999)과 본 연구에서 구명한 흡습 평형함수율의 차이인 히스테리시스 효과를 분석하고, 농산물이나 식품 등의 평형함수율 예측에 널리 이용되고 있는 기존의 평형함수율 모델에 대하여 표고버섯의 흡습 평형함수율 모델로서의 적합성을 검정하는데 있다.

### 2. 재료 및 방법

#### 가. 공시재료

전남 장흥에서 수확한 생표고 버섯을 페놀(Phenol) 5% 수용액에 5분간 침지하여 방부 처리한 후 40℃ 오븐에서 함수율 3%(wb) 정도가 될 때까지 건조한 후 흡습 평형함수율 시료로 사용하였다.

#### 나. 실험장치

평형함수율을 측정하기 위하여 유리병에 표 1과 같은 7종의 염용액을 넣어 과포화 시킨 후 항온수조에 고정시켰다. 항온수조는 20℃, 30℃, 40℃, 50℃의 4개이며 단열재로 외부를

\* 순천대학교 농업생명과학대학 생물산업기계공학전공

\*\*순천대학교 자연과학대학 식품공학전공

단열한 철재의 수조로서 이 중 3개(30℃, 40℃, 50℃)는 실온의 실험실 내에 설치하고 20℃ 수조는 냉방시설을 하여 온도가 20℃ 이하로 유지되는 저온실에 위치시켰다.

염용액이 각 온도에서 유지하는 상대습도 값은 표 1과 같이 Arai 등(1976)과 Duggal 등(1982), 최 등(1999)의 실험에서 사용한 실험치를 참고하여 사용하였다.

Table 1. Relative humidities(%) of air above various saturated salt solution.

Salt Solution	Temperature(℃)			
	20	30	40	50
Lithium chloride, anhydrous( <i>LiCl</i> )	11.3	11.2	11.1	11.1
Magnesium chloride( <i>MgCl<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O</i> )	33.1	32.4	31.6	30.6
Sodium dichromate( <i>Na<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub></i> )	54.7	54.0	-	-
Sodium bromide( <i>NaBr</i> )	-	-	53.0	49.6
Sodium chloride( <i>NaCl</i> )	75.6	75.2	75.0	74.9
Potassium chromate( <i>K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub></i> )	86.6	86.3	-	-
Potassium nitrate( <i>KNO<sub>3</sub></i> )	-	-	87.9	85.0

#### 다. 실험방법

표고비섯의 흡습 평형함수율은 20℃, 30℃, 40℃, 50℃의 온도 4수준과 상대습도 11~88% 범위에서 5수준을 택하여 3반복 측정하였다.

함수율은 105℃의 온도에서 24시간 건조하여 결정하였으며, 평형함수율은 표고비섯 시료를 병속에 메달아 놓고 무게변화를 관찰하여 평형이 되었을 때의 함수율을 측정하였는데 처음 3주간은 일주일 간격으로 무게의 변화를 측정하고 이후 3일 간격으로 무게를 측정하였으며 3주일 이상 무게 변화가 평균 ±0.03g 이내일 때 항량에 도달한 것으로 간주하고 이때의 함수율을 평형함수율로 하였다.

#### 라. 평형함수율 모델

표고비섯의 평형함수율 예측 모델로서 곡물과 식품재료에 널리 사용되고 있는 표 2와 같은 5개의 모델(최 등, 1999)을 선정하였으며, 모델들의 매개변수는 SAS(Ver. 6.3)의 선형회귀분석 및 비선형회귀분석 프로그램을 이용하여 구하였으며 각각의 모델의 매개변수가 구해진 다음 시험구 전체에서 수정결정계수와 F값 및 잔차의 평균평방을 기준으로 하여 각 모델의 적합성을 검정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 표고비섯의 흡습 평형함수율

##### 1) 흡습 평형함수율

표 3은 표고비섯의 흡습 평형함수율로서 3반복 값의 평균치이며 표고비섯이 흡습 평형함수율에 도달하기까지는 13주 정도가 소요되어 방습 평형함수율(최 등, 1999)에 비해 약 3주 정도 빨리 평형에 도달하는 것으로 나타났다.

Table 2. Equilibrium moisture content models.

Model	Equation
Chung-Pfost	$\ln(RH) = (-A/R \cdot T_k) \cdot \exp(-B \cdot M)$
Henderson	$1 - RH = \exp[-A \cdot T_k \cdot M_o^B]$
Harkins-Jura	$RH = \exp(A - B/M^2)$
Smith	$M = A - B \cdot \ln(1 - RH)$
Henderson-Thompson	$1 - RH = \exp[-A \cdot (T + B) \cdot M_o^C]$

Note)  $M$  : Equilibrium moisture content(decimal, db)

$M_o$  : Equilibrium moisture content(% , db)

$RH$  : Relative humidity(decimal)

$T$  : Temperature(°C)

$T_k$  : Absolute temperature(K)

$R$  : Gas constant,  $8.31 \times 10^3 (J \cdot T_k^{-1} \cdot kMol^{-1})$

$A, B, C$  : Parameter

Table 3. Adsorption equilibrium moisture contents of Shiitake mushroom at different levels of relative humidities and temperatures.

Temp.(°C)	RH(%)	EMC(% ,wb)	Temp.(°C)	RH(%)	EMC(% ,wb)
20	11.3	6.02	40	11.2	4.16
	33.1	7.41		31.6	5.72
	54.7	10.22		53.0	8.14
	75.6	17.78		75.0	15.58
	86.6	27.12		87.9	25.23
30	11.2	4.92	50	11.1	3.22
	32.4	6.62		30.6	4.40
	52.0	8.90		49.6	6.35
	75.2	16.30		74.9	14.23
	86.3	24.88		85.0	20.62

그림 1은 표고버섯의 상대습도에 따른 온도별 흡습 평형함수율을 나타낸 그림으로서 방습 평형함수율(최 등, 1999)과 비슷한 추세를 보였으며, 온도가 낮을수록 그리고 상대습도가 높을수록 흡습 평형함수율이 증가하였다.

## 2) 평형함수율의 히스테리시스

그림 2는 30°C에서의 표고버섯의 방습 평형함수율(최 등, 1999)과 본 실험에서 구한 흡습 평형함수율을 나타낸 그림이다. 그림에서와 같이 흡습 평형함수율이 방습 평형함수율보다 약간 낮은 값을 가짐을 알 수 있는데 방습 평형함수율과 흡습 평형함수율의 차이인 히스테리시스가 있는지를 확인하기 위하여 t검정을 해본 결과 총 20개의 시험구 중 7개의 시험구에서 유의성이 인정되었다.

또한 각각의 온도에서 상대습도에 따른 히스테리시스에 차이가 있는지를 확인하기 위하여 DUNCAN의 다중검정을 실시한 결과 상대습도 전구간에서 유의성이 인정되지 않았으며, 또

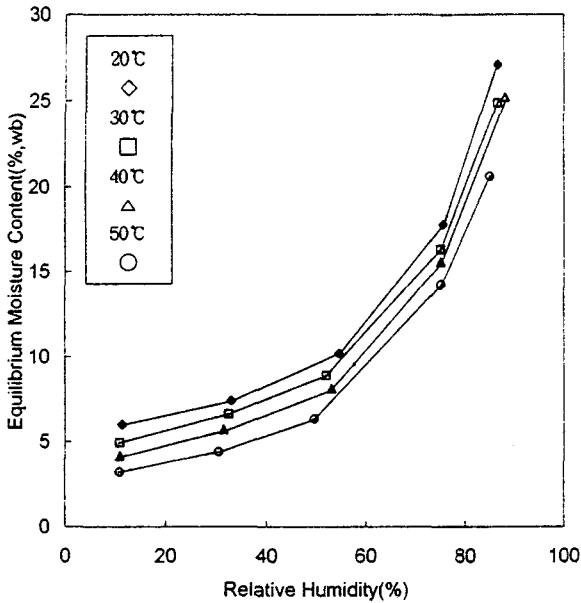


Fig. 1. Adsorption equilibrium moisture contents for Shiitake mushroom.

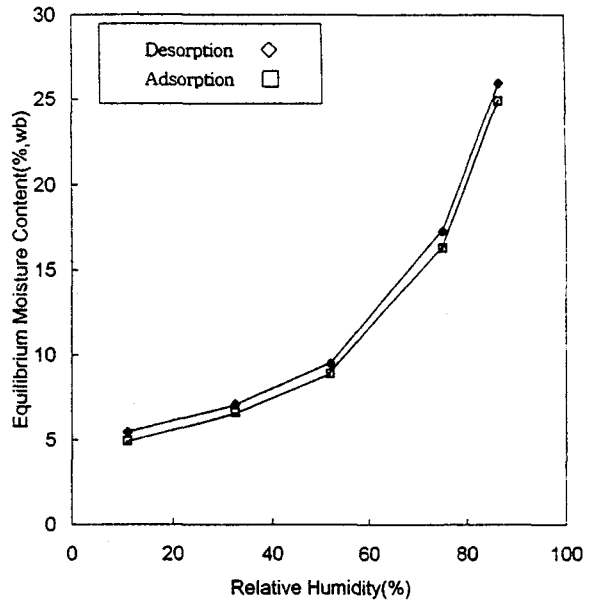


Fig. 2. Desorption and adsorption equilibrium moisture contents at 30°C.

Table 4. Difference between desorption and adsorption equilibrium moisture contents.

⊙ constant temperature

Temp.(°C)	Difference in EMC*(%,wb)				
	Relative Humidity(%)				
	11.1~11.3	30.6~33.1	49.6~54.7	74.9~75.6	85~87.9
20	0.40 a**	0.49 a	0.66 a	0.53 a	0.22 a
30	0.55 a	0.49 a	0.60 a	0.99 a	1.08 a
40	0.04 a	0.26 a	0.89 a	0.84 a	0.69 a
50	0.17 a	0.21 a	0.67 a	0.68 a	0.23 a

⊙ constant relative humidity

Relative Humidity(%)	Difference in EMC*(%,wb)			
	Temp.(°C)			
	20	30	40	50
11.1~11.3	0.40 a**	0.55 a	0.04 a	0.21 a
30.6~33.1	0.49 a	0.49 a	0.26 a	0.21 a
49.6~54.7	0.66 a	0.63 a	0.89 a	0.67 a
74.9~75.6	0.53 a	0.99 a	0.84 a	0.68 a
85~87.9	0.22 a	1.08 a	0.69 a	0.23 a

Note) \*: Difference between desorption and adsorption equilibrium moisture contents.

\*\* : Mean values within a row followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by DUNCAN's multiple range test.

각각의 상대습도 구간에서 온도에 따른 히스테리시스의 차이도 상대습도 전 구간에서 유의성이 인정되지 않았다(표 4).

#### 나. 평형함수율 모델

평형함수율이 온도와 상대습도의 함수로 되어 있는 Chung-Pfost 모델과 Henderson 모델 그리고 비선형인 Henderson-Thompson 모델에 대한 회귀분석결과 흡습 평형함수율에 대한 각 모델의 상수는 표 5와 같다.

Table 5. Adsorption parameters in Chung-Pfost, Henderson and Henderson-Thompson model for Shiitake mushroom.

Model	Parameter			$R^2$	F
	A	B	C		
Chung-Pfost	15.6612	12.1507	-	0.9075	176.549**
Henderson	-9.4609	1.4351	-	0.8603	110.830**
Henderson-Thompson	0.00049991	86.2450	1.1043	0.9884	482.808**

표 5에서와 같이 Chung-Pfost, Henderson 그리고 Henderson-Thompson 모델은 모두 표고버섯의 흡습 평형함수율을 예측할 수 있는 모델로서 고도의 유의성이 인정되었다.

평형함수율이 상대습도만의 함수로 표시되는 Harkins-Jura 모델과 Smith 모델에서는 각 온도별로 매개변수 A, B를 구했다. 각 온도에서의 흡습 평형함수율의 매개변수 A, B는 표 6과 같다.

Table 6. Adsorption parameters in Harkins-Jura and Smith model for Shiitake mushroom.

Temp.	Model	Parameter		$R^2$	F
		A	B		
20°C	Harkins-Jura	0.0245	0.0074	0.9670	87.835**
	Smith	0.0303	0.1130	0.9703	97.91**
30°C	Harkins-Jura	-0.0489	0.0051	0.9957	687.014**
	Smith	0.0240	0.1075	0.9783	135.422**
40°C	Harkins-Jura	-0.0950	0.0036	0.9984	1832.84**
	Smith	0.0158	0.1075	0.9807	152.604**
50°C	Harkins-Jura	-0.1482	0.0021	0.9976	1239.14**
	Smith	0.0086	0.1002	0.9814	157.984**

표 6에서와 같이 두 모델 모두 각 온도에서 흡습 평형함수율을 예측할 수 있는 모델로서 고도의 유의성이 인정되었다.

평형함수율이 상대습도만의 함수로 되어 있는 모델들은 실험에서 사용된 특정한 온도에서는 각 온도별로 구해진 매개변수 A, B를 이용하여 평형함수율을 예측할 수 있으나 실험에서 실시한 온도가 아닌 다른 온도에서는 평형함수율을 예측할 수가 없다. 따라서 모든 온도에서 평형함수율을 예측할 수 있도록 표 7과 같이 Harkins-Jura 모델과 Smith 모델의 흡

습 평형함수율의 매개변수 A, B를 온도의 1차함수로 나타내었다.

Table 7. Regression equations of adsorption parameters in Harkins-Jura and Smith model for Shiitake mushroom.

Model	Equation	R <sup>2</sup>	F
Harkins-Jura	A = 0.1306 - 0.0056T	0.9900	197.497**
	B = 0.0106 - 0.0002T	0.9875	157.687**
Smith	A = 0.0453 - 0.0007T	0.9977	862.422**
	B = 0.1205 - 0.0004T	0.8967	17.367

Note) T : Temperature(°C)

표 7에서 Harkins-Jura 모델의 경우 흡습 평형함수율의 매개변수 A, B 모두가 고도의 유의성이 인정되었으며, Smith 모델의 경우는 매개변수 A는 고도의 유의성이 인정되었으나 매개변수 B의 유의성이 인정되지 않았다.

따라서 기존 모델들 중 Smith 모델을 제외한 나머지 모델 모두가 유의성이 인정되었는데 그림 3, 4, 5, 6은 각각 유의성이 인정된 Chung-Pfost, Henderson, Henderson-Thompson, Harkins-Jura 모델을 이용하여 나타낸 표고비섯의 흡습 평형함수율 곡선(등온흡습곡선 : adsorption isotherm)이다.

본 실험에서 선정된 기존 모델들 중 유의성이 인정된 네 개의 모델을 표고비섯의 평형함수율 예측 모델로서 비교해 보았다. 그 결과 표 5 및 표 8에서와 같이 Henderson-Thompson 모델이 수정결정계수와 F값이 가장 높을 뿐만 아니라 잔차의 평균평방(표 8)이 가장 작아 20°C에서 50°C의 온도와 상대습도 11~88% 사이에서 표고비섯의 흡습 평형함수율을 가장 잘 예측할 수 있는 모델인 것으로 나타났다.

Table 8. Mean square errors in the selected adsorption equilibrium moisture contents models for Shiitake mushroom.

Model	Mean Square Error
Chung-Pfost	11.7545
Henderson	4.9094
Henderson-Thompson	3.3433
Harkins-Jura	13.3973

#### 4. 요약 및 결론

온도 4수준(20, 30, 40, 50°C)과 상대습도 5수준(11~88%)에서 표고비섯의 흡습 평형함수율을 측정하고 기존에 발표되어 널리 사용되고 있는 평형함수율 예측 모델들을 선정하여 각 모델들의 매개변수를 구하고 표고비섯의 흡습 평형함수율 예측 모델로서의 적합성을 검증하였으며 표고비섯의 방습 평형함수율 값과의 차이인 히스테리시스를 분석하였다.

본 연구에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

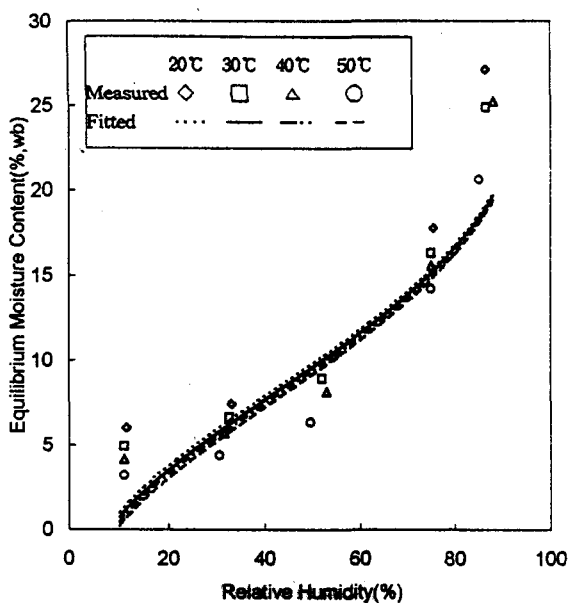


Fig. 3. Adsorption equilibrium moisture contents for Shiitake mushroom using Chung-Pfost model.

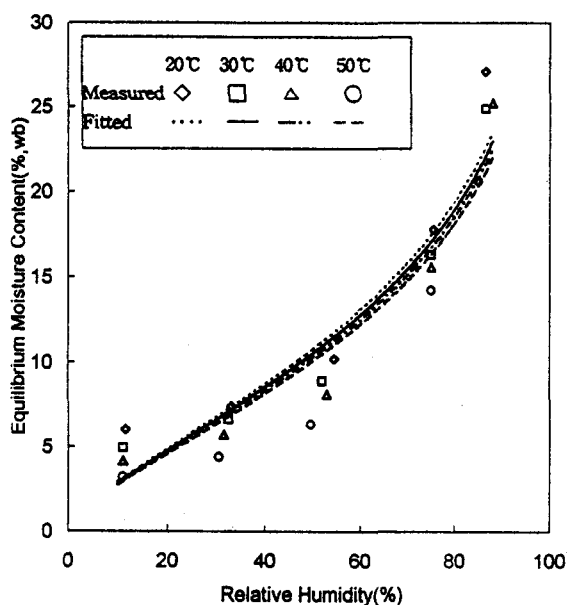


Fig. 4. Adsorption equilibrium moisture contents for Shiitake mushroom using Henderson model.

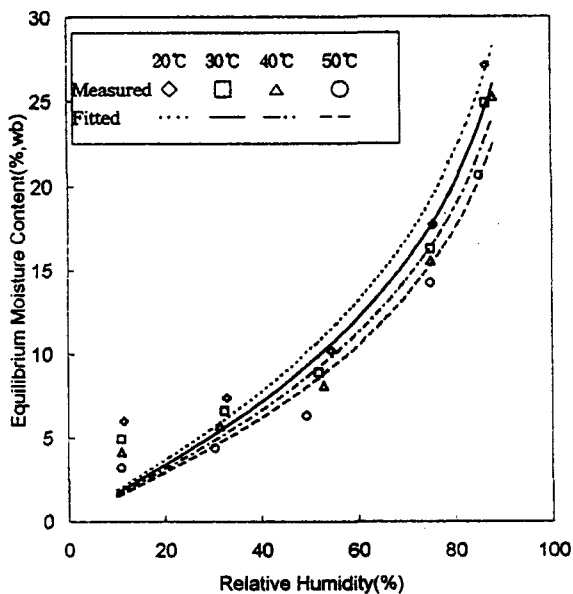


Fig. 5. Adsorption equilibrium moisture contents for Shiitake mushroom using Henderson-Thompson model.

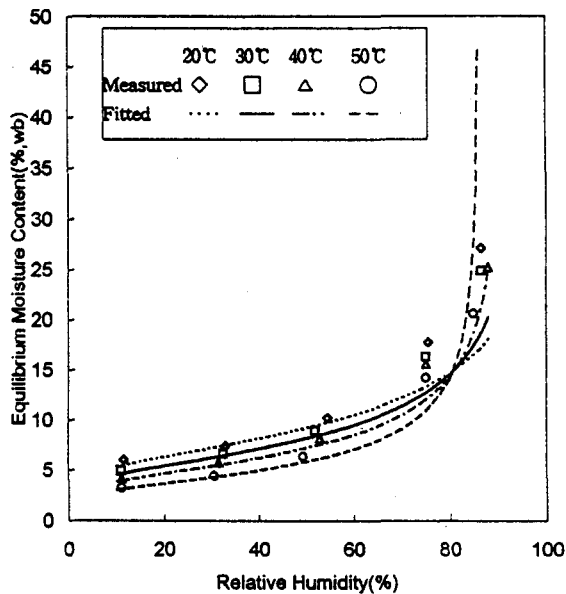


Fig. 6. Adsorption equilibrium moisture contents for Shiitake mushroom using Harkins-Jura model.

1. 표고버섯의 흡습 평형함수율도 방습 평형함수율과 마찬가지로 온도가 낮고 상대습도가 높을수록 증가하며 온도보다는 상대습도의 영향이 크게 나타났다.
2. 흡습 평형함수율이 방습 평형함수율보다 약간 낮은 값을 가지나 그 차이(히스테리시스)는 온도나 상대습도에 영향을 받지 않았다.
3. 본 실험에서 선정한 5개의 기존 모델들 중 표고버섯의 흡습 평형함수율을 예측하는데 가장 적합한 모델은 Henderson-Thompson 모델이었다.

## 5. 참고문헌

1. 이지열. 1982. 증보 균학·버섯 재배. 태광문화사, 서울.
2. 최병민. 1992. 인삼의 평형함수율 및 건조모델. 전북대학교 대학원 박사학위 논문.
3. 최병민, 한은정, 최주호, 홍지형, 서재신. 1999. 표고버섯의 평형함수율에 관한 연구. 한국농산물저장유통학회지. 6(1):37-42.
4. Arai, C., S. Hosaka, K. Murase and Y. Sano. 1976. Measurements of the relative humidity of saturated aqueous salt solutions, JOURNAL OF CHEMICAL ENGINEERING OF JAPAN 9(4):328-330.
5. Duggal, A. K., W. E. Muir and D. B. Brooker. 1982. Sorption Equilibrium Moisture Contents of Wheat Kernels and Chaff. TRANSACTIONS of the ASAE 25(4):1086-1090.