

표고버섯의 평형함수율에 관한 연구

최병민 · 한은정 · 최주호 · 홍지형 · 서재신*
순천대학교 농업기계공학과, *순천대학교 식품공학과

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

Byoung-Min Choi, Eun-Jeong Han, Joo-Ho Choi, Ji-Hyung Hong, and Jae-Sin Seo*

Department of Agricultural Machinery Engineering,
*Department of Food Science & Technology, Suncheon National University

Abstract

The equilibrium moisture content(EMC) of Shiitake mushroom is an important factor because it has a close relationship to storage and drying problems. The determination of the EMC for Shiitake mushroom was made in atmospheres of various constant humidities at four different constant temperatures and the fitting of the five selected EMC models were performed with the experimental EMC data. The desorption equilibrium moisture contents for Shiitake mushroom were increased as the temperature was decreased and the relative humidity was increased. The significant difference of the equilibrium moisture content was appeared between the cap and the stipe of Shiitake mushroom. The Henderson-Thompson model was fitter than the others with the experimental data.

Key words : desorption EMC, Shiitake mushroom, fitting, Henderson-Thompson model

서론

농산물과 같은 흡습성 재료의 평형함수율은 건조 및 저장 문제와 매우 밀접한 관계를 가지고 있다. 물질의 평형함수율(equilibrium moisture content, EMC)이란 물질을 일정한 온도와 습도를 가진 공기중에 장기간 방치하여 두었을 때 더 이상 함수율이 변하지 않을 때의 그 물질의 함수율을 말한다. 따라서 평형함수율은 일정한 건조 조건하에서 건조될 수 있는 최소한도의 함수율을 결정하여 주는 것이다(1-3).

어떤 물질을 둘러싼 공기의 상대습도가 그 물질에 대한 평형상대습도보다 높다면 물질의 함수율은 평형

함수율까지 증가할 것이며 이때의 함수율을 흡습 평형함수율(adsorption EMC)이라한다. 이와 반대로, 공기의 상대습도가 물질에 대한 평형상대습도보다 낮다면 물질의 함수율은 평형함수율까지 감소될 것이고 이때의 함수율이 방습 평형함수율(desorption EMC)이다(3, 4).

일반적으로 평형함수율은 물질을 습공기중에 노출시켜 구하며 여기에는 정적인 방법과 동적인 방법의 두가지 측정방법이 있다. 정적인 방법(static method)이란 일정한 온도와 습도를 갖는 공기중에서 공기의 유동이 없이 어떤 물질의 함수율이 평형상태에 다다르게 하는 방법을 말하며, 동적인 방법(dynamic method)이란 일정한 온도와 습도를 갖는 공기를 기계적으로 유동시켜 평형에 빨리 도달하게 하는 방법을 말한다. 이 두가지 방법 모두 공기의 조건, 즉 온도와 습도를 일정하게 유지시키는 것이 가장 중요하며, 정적인 방

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

법으로 실험할 때 상대습도를 일정하게 유지 시키기 위하여 포화 염용액이나 산이 이용되나 산에 비해 염용액이 더 안전하고 부식이 덜 되며 상대적으로 가격이 저렴하여 자주 이용된다(2, 4, 5).

우리나라 표고버섯 생산량은 '97년에 3,780M/T 정도이며 그 중 50%는 건조표고버섯으로 수출하고 있다. 이러한 표고버섯의 재배는 농촌부업 뿐만 아니라 농한기의 노동력 이용면에서 유리하고 수입국이 증가함에 따라 수요는 날로 증가하고 있어 표고재배 사업의 전망은 매우 밝다(6). 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 구명이 요구된다.

따라서 본 연구의 목적은 표고버섯의 건조, 가공 및 저장의 기초 자료로 이용될 수 있는 방습 평형함수율을 염용액을 이용한 정적인 방법에 의하여 구명하는데 있으며 그 구체적인 연구목적은 다음과 같다.

20~50℃의 온도와 상대습도 11~88% 범위에서 표고버섯의 방습 평형함수율을 측정한다.

표고버섯의 잣과 대 부분의 평형함수율의 차이를 분석한다.

농산물이나 식품 등의 평형함수율 예측에 널리 이용되고 있는 기존의 평형함수율 모델에 대하여 표고버섯의 방습 평형함수율 모델로서의 적합성을 검정한다.

재료 및 방법

재료

본 실험에 사용된 표고버섯은 1996년 11월 전남 장흥에서 생산된 잣의 평균 직경이 5.6cm(분포 : 4~7.5cm)이며 평균 중량이 26g(분포 : 13~56g)인 초기 함수율 70~85%(wb)를 갖는 생표고 버섯으로서, 실험 중 재료의 부패를 방지하기 위하여 페놀(phenol) 5% 수용액에 5분간 침지하여 방부 처리한 후, 실험 기간의 단축을 위하여 40℃ 오븐에서 함수율 26%(wb) 정도가 될 때까지 건조한 후 사용하였다. 일반적으로 정적인 방법에 의한 생물재료의 평형함수율 측정에는 장기간이 소요되어 방부처리가 안된 시료는 부패하여 실험치를 얻기 힘들다. Gustafson 과 Hall(5)은 옥수수의 평형함수율 측정실험에서 시료의

방부처리를 위하여 propionic acid와 acetic acid의 혼합물을 시료에 첨가하여 사용하였으며 방부처리하지 않은 시료는 부패와 곰팡이로 인하여 평형함수율을 측정할 수 없다고 하였으며, 최(4)는 인삼의 평형함수율 측정실험에서 페놀을 이용하여 시간을 달리하여 방부처리한 인삼에 대하여 평형함수율 값에 차이가 있는지를 구명하바 있는데 페놀 5% 수용액에 2분과 5분 침지하여 평형함수율 값을 측정한 바 침지시간에 대한 유의차가 없다고 발표한 바 있다. 그러나 페놀 5% 수용액에 방부처리한 시료와 방부처리하지 않은 시료에 대한 평형함수율 값의 차이 여부를 구명한 실험은 아직 시행된 바 없다.

실험장치

유리병에 각각 7종의 염용액을 넣어 과포화 시킨 후 항온수조에 고정시켰다. 염용액이 각 온도에서 유지하는 상대습도 값은 Arai 등(7)의 실험치와 Duggal 등(8), Pappas 와 Rao(9) 등의 실험에서 사용한 수치로 하였다. 항온수조는 20℃, 30℃, 40℃, 50℃의 4개이며 단열재로 외부를 단열한 철재의 수조이다. 항온수조 3개(30℃, 40℃, 50℃)는 실온의 실험실 내에 설치하고 20℃ 항온수조는 냉방시설을 하여 온도가 20℃ 이하로 유지되게 한 저온실에 위치 시켰다.

항온수조의 온도는 각 수조에 전열기(용량 2kW) 2개를 직렬로 설치하고 K타입 열전대를 사용한 온도 조절기(한영전자, Model HY-8000)를 사용하여 일정온도를 유지하게 하였다.

함수율 측정

함수율의 측정은 공기 오븐법을 사용하였으며 105℃의 온도에서 24시간 건조하여 함수율을 결정하였다.

평형함수율 측정은 표고버섯 시료를 항온수조 내의 병속에 매달아 놓고 무게변화를 관찰하여 평형이 되었을때의 함수율을 측정하는데 처음 3주간은 일주일 간격으로 무게의 변화를 측정하고 이후 4일 간격으로 무게를 측정하였으며 3주일 이상 무게 변화가 평균 $\pm 0.03g(\pm 0.24, wb)$ 이내일 때 항량에 도달한 것으로 간주하고 이때의 함수율을 평형함수율로 결정하였다.

평형함수율 모델 선정

표고버섯의 평형함수율 예측 모델로서 곡물과 식품재료에 널리 사용되고 있는 Table 1과 같은 5개의 모델(4, 8-13)을 선정하였다.

Table 1. Equilibrium moisture content models

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

M : Equilibrium moisture content(decimal, db)
 M_e : Equilibrium moisture content(% db)
 RH : Relative humidity(decimal)
 T : Temperature(°C)
 T_k : Absolute temperature(K)
 R : Gas constant, 8.31 x 10³ (J · T_k⁻¹ · kMol⁻¹)
 A, B, C : Parameter

모델의 적합성 검증

본 연구에서 선정된 모델들 중 선형화가 가능한 모델은 4개(Chung-Pfost, Henderson, Harkins-Jura, Smith)의 모델로서 이들 모델들은 SAS의 선형회귀분석 프로그램을 이용하여 매개변수를 구하였으며 Henderson-Thompson 모델은 비선형 모델로서 SAS의 비선형회귀분석을 이용(14)하여 매개변수를 구하였다. 각각의 모델의 매개변수가 구해진 다음 시험구 전체에서 수정결정계수와 F값 및 잔차의 평균평방을 기준으로 하여 각 모델의 적합성을 검증하였다.

결과 및 고찰

표고버섯의 부위별 평형함수율

표고버섯의 갓(cap)과 대(stipe)를 함수율 26%(wb) 정도가 될 때까지 건조한 후 함수율 유리병에 매달아 놓고 방습 평형함수율에 도달하기까지는 약 16주가 소요되었다.

Table 2. Desorption equilibrium moisture contents for cap and stipe of Shiitake mushroom at 30°C and 40°C

Temp.(°C)	RH(%)	EMC(%wb)		t ₀
		Cap	Stipe	
30	32.4	6.93	7.93	13.974
		6.77	7.91	
		6.95	8.07	
	75.2	16.91	17.66	
		17.28	18.12	
		17.17	18.64	
40	31.6	5.63	6.96	3.734
		6.48	7.04	
		5.51	7.07	
	75	15.63	17.59	
		16.34	17.19	
		16.18	17.39	

t(0.05/2,4) = 2.776.

온도 30°C와 40°C의 시험구에서의 실험결과는 Table 2와 같다. 표고버섯의 부위별 평형함수율에 차이가 있는가를 검증하기 위해 소표본인 경우의 두 집단 차이를 검증하는데 유의한 t검정을 이용하였다. 그 결과 Table 2에서와 같이 유의성이 인정되어 부위별 평형함수율에 차이가 있으며 대 부위가 갓 부위보다 약간 높은 것으로 나타났다.

방습 평형함수율

Table 3은 온도 4수준(20, 30, 40, 50°C)과 각각의 온도에서 상대습도 5수준(11~88%)을 택하여 3반복 실험한 표고버섯의 전체 부위의 방습 평형함수율의 평균치이며 Fig. 1은 표고버섯의 상대습도에 따른 온도별 건조 평형함수율의 변화를 나타낸 그림이다.

Table 3. Desorption 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	6.42	40	11.2	4.21
	33.1	7.90		31.6	5.98
	54.7	10.88		40	9.02
	75.6	18.30		75.0	16.42
	86.6	27.34		87.9	25.91
30	11.2	5.47	50	11.1	3.39
	32.4	7.11		30.6	4.78
	52.0	9.51		49.6	7.02
	75.2	17.28		74.9	14.91
	86.3	25.95		85.0	20.85

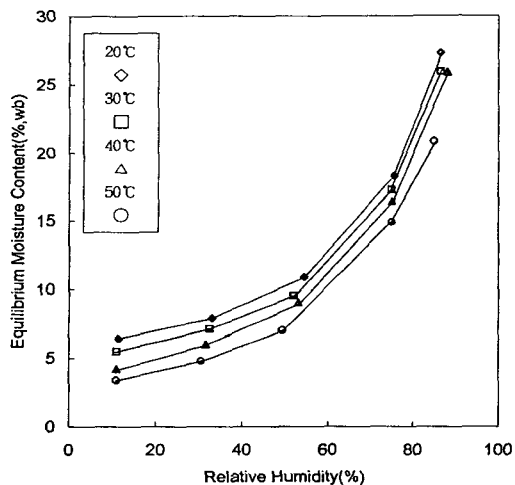


Fig. 1. Desorption equilibrium moisture contents for Shiitake mushroom.

Table 3과 Fig. 1에 따르면 표고버섯도 다른 농산물들과 마찬가지로(4, 8-13) 온도가 낮고 상대습도가 높을수록 방습 평형함수율이 증가하는 경향이 있으며 온도의 변화나 습도의 변화에 따른 평형함수율의 차이를 검정하기 위하여 SAS의 난괴법을 이용(14)한 결과 Table 4와 같이 온도와 상대습도 모두 고도의 유의성이 인정 되었으며 온도보다는 상대습도가 건조 평형함수율에 미치는 영향이 더 크게 나타났다.

Table 4. Analysis of variance for randomized complete block design

Source	DF	Sum of Square	Mean Square	F
Corrected Total	19	1172.3802		
Temperature	3	42.2753	14.0918	24.389**
Relative Humidity	4	1123.171	280.7928	485.969**
Error	12	6.9339	0.5778	

평형함수율 모델

표고버섯에 대한 평형함수율 모델의 적합성 검증은 Table 1에서와 같은 기존의 5개의 모델을 대상으로 하였다.

평형함수율이 온도와 상대습도의 함수로 되어 있는 Chung-Pfost 모델과 Henderson 모델 그리고 비선형인 Henderson-Thompson 모델에 대한 회귀분석결과 방습 평형함수율의 상수는 각각 Table 5와 같다.

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

Model	Parameter			r ²	F
	A	B	C		
Chung-Pfost	15.7160	12.0599	-	0.9160	196.221**
Henderson	-9.6320	1.4746	-	0.8687	119.062**
Henderson-Thompson	0.00042751	85.0139	1.1475	0.9893	526.658**

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

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

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

Temp.	Model	Parameter		r ²	F
		A	B		
20℃	Harkins-Jura	0.0386	0.0085	0.9682	91.264**
	Smith	0.0358	0.1121	0.9751	117.37**
30℃	Harkins-Jura	-0.0183	0.0062	0.9887	263.113**
	Smith	0.0282	0.1109	0.9790	139.585**
40℃	Harkins-Jura	-0.1333	0.0037	0.9976	1230.468**
	Smith	0.0183	0.1105	0.9888	266.043**
50℃	Harkins-Jura	-0.1670	0.0023	0.9973	1118.235**
	Smith	0.0125	0.1007	0.9885	258.239**

Table 6에서와 같이 두 모델 모두 각 온도에서 방습 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 Table 7과 같이 Harkins-Jura 모델과 Smith 모델의 매개변수 A, B를 온도의 1차함수로 나타내었다.

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

Model	Equation	r ²	F
Harkins-Jura	A = 0.1861 - 0.0073T	0.9603	48.413*
	B = 0.0126 - 0.0002T	0.9873	155.125**
Smith	A = 0.0516 - 0.0008T	0.9911	222.815**
	B = 0.1207 - 0.0003T	0.7164	5.053

T : Temperature(℃).

Table 7과 같이 Harkins-Jura 모델은 방습 평형함수율의 매개변수 A와 B가 모두 유의성이 인정되었으나 Smith 모델은 매개변수 B의 유의성이 인정되지 않았다.

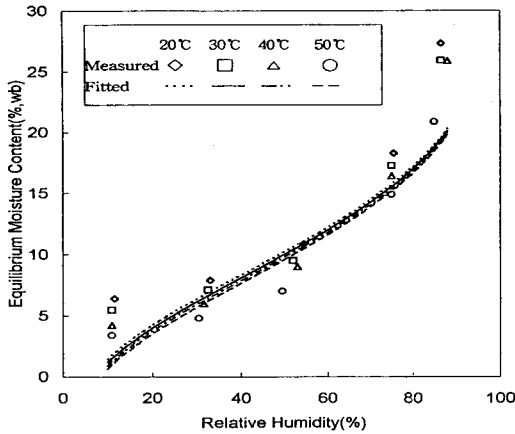


Fig. 2. Desorption equilibrium moisture contents for Shiitake mushroom using Chung-Pfost model.

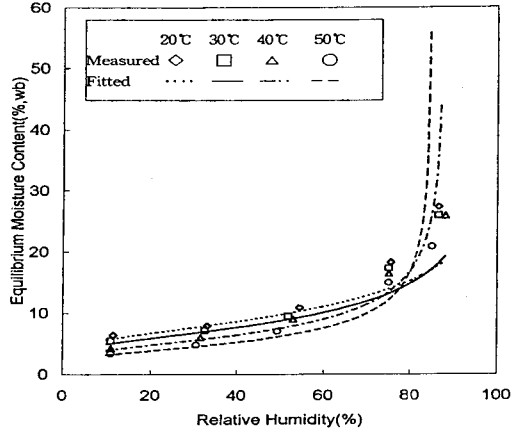


Fig. 5. Desorption equilibrium moisture contents for Shiitake mushroom using Harkins-Jura model.

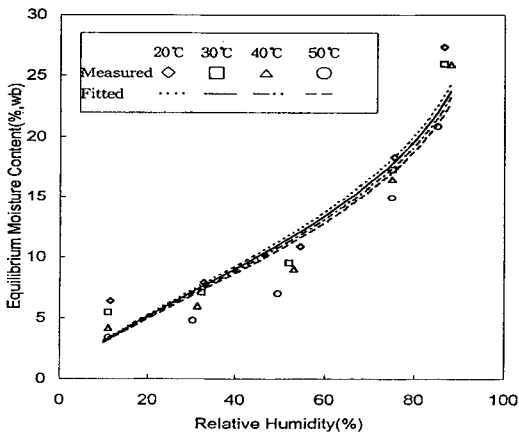


Fig. 3. Desorption equilibrium moisture contents for Shiitake mushroom using Henderson model.

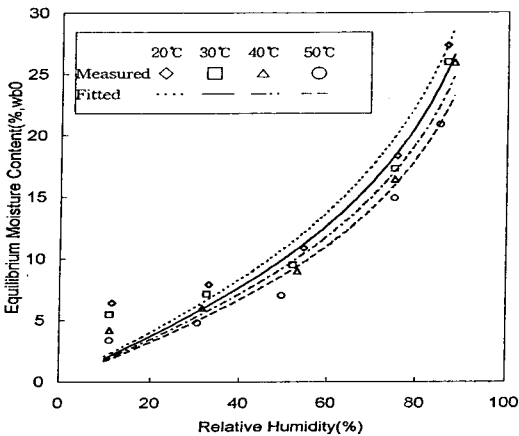


Fig. 4. Desorption equilibrium moisture contents for Shiitake mushroom using Henderson-Thompson model.

따라서 기존 모델들 중 Smith 모델을 제외한 나머지 모델 모두가 유의성이 인정되었는데 유의성이 인정된 Chung-Pfost, Henderson, Henderson-Thompson, Harkins-Jura 및 실험모델에 의한 방습 평형함수율 곡선(등온방습곡선 : desorption isotherms)은 각각 Fig. 2, 3, 4, 5와 같다.

Fig. 2와 3에서와 같이 Chung-Pfost 모델과 Henderson 모델에 의한 방습 평형함수율의 예측은 실험 방습 평형함수율과 비교해 볼 때 상대습도 20% 이하와 80% 이상에서는 과소예측을 50%에서 60% 사이에서 약간 과잉예측하는 경향을 보였으며 다른 구간에서는 비교적 실측값과 잘 일치하였다.

Henderson-Thompson 모델은 Fig. 4와 같이 실측값과 비교적 잘 일치하지만 20% 이하의 상대습도에서는 과소 예측하는 경향이 있었다. 그리고 그림 5에서와 같이 Harkins-Jura 모델은 상대습도 80% 이하에서는 비교적 잘 일치하나 온도가 40, 50°C의 고온이면서 상대습도 80% 이상인 구간에서 과잉예측하는 경향을 보였다.

모델의 비교

본 실험에서 선정된 기존 모델들 중 유의성이 인정된 네 개의 모델을 표고버섯의 방습 평형함수율 예측 모델로서 비교해 보았다. 그 결과 Henderson-Thompson 모델이 수정결정계수와 F값(Table 5, 7)이 가장 높을 뿐만 아니라 잔차의 평균평방(표 8)이 가장 작아 20°C에서 50°C의 온도와 상대습도 11~88% 사이에서 표고버섯의 방습 평형함수율을 가장 잘 예측할 수 있는 모델로 판단되었다.

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

Model	Mean Square Error
Chung-pfost	11.9257
Henderson	4.6690
Henderson-Thompson	2.8675
Harkins-Jura	82.8074

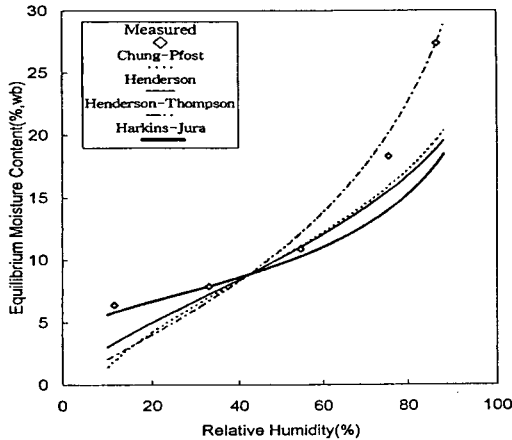


Fig. 6. Comparison of desorption equilibrium moisture contents fitted with various models at 20°C for Shiitake mushroom.

Fig. 6은 20°C에서 표고버섯의 방습 평형함수율을 유의성이 인정된 Chung-Pfost, Henderson, Henderson-Thompson, Harkins-Jura 모델에 의해 예측한 그림이다.

요 약

농·산촌의 수입원으로 생산량과 수요가 꾸준히 증가하고 있어 발전 가능성이 밝은 작목으로 그 특성이 필요한 표고버섯을 시료로 하여 건조나 저장, 가공 등의 기초자료가 될 방습 평형함수율을 측정하였다. 온도 4수준(20, 30, 40, 50°C)과 상대습도 5수준(11~88%)에서 방습 평형함수율을 측정하고 기존에 발표되어 널리 사용되고 있는 평형함수율 예측 모델들을 선정하여 매개변수를 구하고 표고버섯의 평형함수율 예측 모델로서의 적합성을 검정하였다. 또한, 표고버섯의 갓부위와 대부위를 분리하여 각각의 방습 평형함수율을 측정하여 표고버섯의 부위별 평형함수율을 비교하였다.

표고버섯의 방습 평형함수율은 온도가 낮고 상대습도가 높을수록 증가하며 온도보다는 상대습도의 영향이 크게 나타났다. 표고버섯의 부위별 방습 평형함수율에 차이가 있는 것으로 나타났으며 갓 부위가 대 부위보다 약간 작은 값을 가졌다. 본 실험에서 선정된 5

개의 기존 모델들 중 표고버섯의 방습 평형함수율을 예측하는데 가장 적합한 모델은 Henderson-Thompson 모델이었다. Henderson-Thompson 모델은 다음과 같다.

$$1 - RH = \exp(-0.00043 \cdot (T + 85.01) \cdot M01.15)$$

참고문헌

- 고학균(1978) 벼의 평형함수율 측정에 관한 연구. 한국농업기계학회지 3(2), 62-68.
- Brooker, D. D., F. W. Bakker-Arkema and C. W. Hall(1974) Drying cereal grains. The AVI Publishing Company, Inc.
- 고학균, 금동혁, 김만수, 노상하, 문선홍, 박경규, 장동일(1990) 농산가공기계학. 향문사, 서울.
- 최병민(1992) 인삼의 평형함수율 및 건조모델. 전북대학교 대학원 박사학위 논문.
- Gustafson, R. J. and G. E. Hall(1974) Equilibrium Moisture Content of Shelled Corn from 50 to 15 5°F. *Transactions of the ASAE* 17(1), 120-124.
- 농협세계화농업지도자교육원(1995) 느타리 버섯. 새농민기술대학 교육교재 제10호.
- 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.
- 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.
- Pappas, G. and V. N. M. Rao(1987) Sorption Isotherms of Cowpeas from 25°C to 70°C. *Transactions of the ASAE* 30(5), 1478-1483.
- Ajibola, O. O(1986) Desorption Isotherms of Gari from 40°C to 70°C. *J. Agr. Eng. Res.* 35, 207-210.
- Akritidis, C. B., C. A. Tsatsarelis and C. B. Bagiatis(1988) Equilibrium Moisture Content of Pumpkin Seed. *Transactions of the ASAE* 31(6), 1824-1827.
- Cenkowski, S., S. Sokhansanj and F. W. Sosulski(1989) Equilibrium moisture content of lentils. *Canadian Agricultural Engineering* 31(2), 159-162.
- Mazza, G., D. S. Jayas and N. D. G. White(1990) Moisture Sorption Isotherms of Flax Seed. *Transactions of the ASAE* 33(4), 1313-1318.
- 김진기, 차장욱, 김연중(1995) 알기쉬운 SAS 활용법. 해지원, 서울.

(1998년 12월 8일 접수)