

건조방법에 따른 건조분말두부의 흡습특성

김진성 · 김준한¹ · 하영선[†]
대구대학교 식품·생명·화학공학부, ¹경북대학교 식품공학과

Absorption Characteristics of Soybean curd Powder by Drying Methods

Jin-Sung Kim, Jun-Han Kim¹ and Young-Sun Ha[†]
Devison of Food, Biotech, Chemical. Engineering, Daegu University, Kyungsan, 712-714, Korea
¹Department of Food Engineering, Kyungpook National University, Daegu, 702-701. Korea

Abstract

The absorption characteristics and their physical properties of hot air, vacuum and freeze dried soybean curd powder were investigated. Absorption conditions were at 5, 15, and 25 °C with 0.11~0.93 water activities. Equilibrium moisture content and the monolayer moisture content determined by prediction models showed highest value in the freeze dried soybean curd powder due to porous structure. Absorption energy decreased with increasing water activity was not affected by drying method. In the comparisons of the isothermal absorption models, Oswin model generally was the best fit model for isothermal adsorption of soybean curd powder.

Key words : soybean curd powder, drying method, isotherm absorption models

서 론

두부(soybean curd)는 특유의 질감을 가진 식물성 고단백 식품으로 두부의 원료인 콩은 glycinin과 albumin 등의 단백질 성분과 비단백 질소 화합물이 함유되어 있는 영양과 기능성이 우수한 식품이다. 그러나, 두부는 80% 이상의 높은 수분함량 때문에 쉽게 변질되어 저장성에 한계성이 있기도 한 식품이다(1-3). 일반적으로 건조분말식품의 경우 저장조건에 따라 품질이 달라지며, 대기 중 수분을 흡습하여 건조식품의 품질에 영향을 주게 된다. 흡습은 식품의 종류와 성분구성, 모양, 크기 등에 따라 달라지며, 또한 같은 식품일지라도 저장 상대습도와 온도, 기공형태에 따라서도 달라지기 때문에 흡습특성에 대한 많은 연구가 필요한 실정이다(4-5). 식품의 건조는 저장성을 향상시키고 수송을 간편하게 하나 특별한 경우는 건조과정에서 일어나는 성분변화에 의해 풍미, 색깔, 조직, 맛 등이 향상되는 하는 경우도 있다. 일반적으로 건조에 의해 풍미의 저하, 색깔의 퇴조,

영양성분의 손실 및 조직과 형태의 손상 등 품질을 저하시킴으로 가능한 저온에서 단시간에 수분을 제거해야 한다. 건조식품의 저장성은 수분활성도, 제품의 종류, 저장온도 등 다양한 요인들에 영향을 받으며, 특히 수분활성도에 따라 비효소적 갈변반응, 지방의 산패, 미생물의 발생정도가 달라진다. 따라서 건조식품 저장 시 변질을 방지하기 위해서는 식품의 수분함량을 측정할 수 있는 등온흡습곡선을 작성하는 것이 중요하다. 또한 식품의 단분자층 수분함량을 결정하고, 흡습에 필요한 에너지를 구함으로서 건조식품의 저장조건 선택 시 유용한 자료가 된다. 특히 식품분말의 흡습특성은 분말입자의 크기, 형태, 화학성분 등과 밀접한 관련이 있다(6-7). 건조분말 식품의 흡습에 관한 연구로서 상대습도 변화에 따른 평형수분함량의 측정 및 예측(8), 등온흡습곡선(9), 저장온도에 따른 수분활성도 예측(10), 흡착량 예측모델(11)등의 연구가 있다. 따라서 본 연구에서는 두부의 안전저장과 유통을 위하여 열풍건조, 진공건조 및 동결건조에 따라 건조분말두부를 제조하고 수분흡습특성과 기존 모델식과의 적합성 및 평형수분함량의 예측 모델을 구하여 건조분말두부의 활용성을 높이고자 하였다.

[†] Corresponding author. E-mail : ysha6532@hanmail.net,
Phone : 82-53-850-6532, Fax : 82-53-850-6539

재료 및 방법

건조분말두부의 제조

콩은 수세하여 12시간 실온에서 침지한 후 콩 무게 10배의 증류수를 조금씩 가하면서 습식 분쇄기로 마쇄하여 두미를 제조하였다. 제조된 두미를 $98 \pm 1^\circ\text{C}$ 에서 5분간 가열한 후 여과포에 넣어 압착하여 유백색의 두유를 얻었다. 이 두유를 80°C 로 조절하고 응고제 CaSO_4 0.2%를 가하여 두유와 잘 섞이도록 첨가한 다음 실온에서 방치하여 응고시켰다. 이 응고물을 여과포를 간 두부상자($20 \times 27 \times 10$ cm)에 넣고 180 g/cm^2 의 압력으로 30분간 압착하여 두부를 제조하였다. 이 제조된 두부를 세절한 후 Table 1과 같이 열풍건조는 열풍건조기(Model JS-1, Jinsung Engr. Co., Korea)를 이용하여 40°C 에서 건조하였으며, 진공건조는 온도 40°C , 진공도 10 mmHg에서 진공건조기(Model HB-501VL, Hanbaek Sci. Co., Korea)를 이용하였으며, 진공동결건조는 온도 -50°C , 진공도 0.5~1.5 mmHg인 동결건조기(Model FD-5508, Ilsin Engr. Co., Korea)를 이용하여 건조하였다. 두부의 동결건조를 위한 첫단계로 심온냉동고(Model D4514C, VWR, Brand Co., USA)에서 예비 동결건조 후 건조를 시행하였다. 건조한 두부는 분쇄기(Model J·NCM, Jisico Sci. CO., Korea)로 분쇄하여 100 mesh 이하로 분리하여 실험에 사용하였다.

Table 1. Specification of experimental equipments

Drying methods	Items	Specification
Hot-air	Drying chamber	400×400×600mm (L×W×H)
	Subsidiary heater	Heater : 600
	Controller	DDF-120R/E (Jung Kyung inst.)
	Motor	DC 100 WW
	Fan	Centrifugal type
	Temperature sensor	Thermocouple (T type)
Vacuum	Air velocity meter	Kanomax-6243, multi type
	Drying chamber	300×300×300 mm (L×W×H)
	Vacuum gauge	ZSE4 01-25
	Thermometer	Digital PID controller
Freeze	Vacuum motor	ILJIN 0315-450 rpm
	Drying chamber	600 mm × 500 mm ($\psi \times H$)
	Vent valve	AB41-03
	Vacuum gauge	ZSE4 01-25
	Thermometer	HY8000-S
	Vacuum motor	ILJIN 0315-450 rpm

상대습도 조절

Table 2와 같이 데시케이터 내의 상대습도는 과포화염용액을 사용하여 조절하였다. 이때 사용한 과포화염용액은

LiCl (11% RH), MgCl_2 (33% RH), K_2CO_3 (44% RH), NaNO_2 (55% RH), NaBr (66% RH), NaCl (75% RH), KCl (85% RH), KNO_3 (93% RH) 등의 시약을 사용하였다. 즉 다양한 염을 사용하여 제조한 과포화염용액을 각각의 데시케이터에 넣고 항온기(Model DS-1700, Daesan Engr. Co., Korea)에 보관하고 온도를 5, 15, 25°C 로 유지하였다. 온도에 따른 데시케이터 안의 상대습도(% RH)는 Data Logger(Model hygrolog-D, Rotronic Co., Swiss)를 이용하여 측정하였다.

Table 2. Relative humidity of saturated salt solution at the experimental temperatures

Salt	Temperature ($^\circ\text{C}$)		
	5	15	25
LiCl	0.11	0.11	0.11
MgCl_2	0.34	0.31	0.33
K_2CO_3	0.43	0.43	0.43
NaNO_2	0.59	0.56	0.51
NaBr	0.64	0.62	0.60
NaCl	0.76	0.73	0.73
KCl	0.85	0.84	0.81
KNO_3	0.94	0.92	0.91

평형수분함량의 측정 및 등온흡습곡선

건조분말두부의 평형수분함량 측정을 위하여 직경 30 cm인 데시케이터에 과포화염용액을 이용하여 평형상태로 만든 후 건조된 분말두부를 150 mL 플라스틱 용기에 넣은 후 4시간 간격으로 무게변화를 측정하여 그 증감량으로부터 평형수분함량을 구하였다. 위의 과포화염용액을 이용하여 상대습도를 조절한 후 건조 분말두부의 무게변화가 없는 평형수분함량에 도달하였을 때의 값을 이용하여 등온흡습곡선으로 나타내었다(6-7).

단분자층 수분함량

단분자층 수분함량은 BET equation과 GAB equation에 적용하여 결정하였다.

$$\text{BET equation } \frac{A_w}{X_e(1-A_w)} = \frac{1}{X_M C} a_w \quad (a)$$

$$\text{GAB equation } X_e = \frac{X_M C k A_w}{(1-k A_w)(1-k A_w + C k A_w)} \quad (b)$$

A_w : Water activity

X_e : Equilibrium moisture content(% dry solids)

X_M : Monolayer moisture content(% dry solids)

C, k : Experimental constants

흡습엔탈피, 자유에너지, 엔트로피 결정

평형수분함량에 도달하는데 필요한 흡습엔탈피 ΔH_s 는 Clausius-Clapeyron의 변형식(6)을, 자유에너지 ΔG 와 엔트로피 ΔS_s 는 Gibbs-Helmholtz식(13)을 이용하여 구하였다.

$$Enthalpy - \ln P = \frac{\Delta H_s}{RT} \quad (c)$$

$$Free\ energy\ \Delta G_s = RT \ln P = RT \ln a_w \quad (d)$$

$$Entropy\ \Delta S_s = \frac{\Delta H_s - \Delta G_s}{T} \quad (e)$$

- ΔH_s : Absorption enthalpy(kcal/mol),
- ΔG_s : Free energy(kcal/mol)
- ΔS_s : Absorption entropy(cal/mol)
- P : Vapor press at temperature T
- R : Gas constants(1.987 cal/mol.K)
- T : Absolute temperature(K)

등온흡습곡선 모델식의 적합성

지금까지 연구된 대표적인 등온흡습곡선 모델식 중 여러 가지 식품에 잘 적용되는 6가지 식들을 이용하여 건조분말 두부의 평형수분함량을 예측할 수 있는 모델식의 적합성을 알아보았다.

Equation Model

$$Bradley\ \ln \frac{1}{A_w} = K_2 K_1^M \quad (f)$$

$$Caurie\ \ln M = \ln A - rA_w \quad (g)$$

$$Halsey\ A_w = \exp(-a/M^n) \quad (h)$$

$$Henderson\ 1 - A_w = \exp(-KM^n) \quad (i)$$

$$Kuhn\ M = \frac{a}{\ln A_w} + b \quad (j)$$

$$Oswin\ M = a \left(\frac{A_w}{1 - A_w} \right)^n \quad (k)$$

- A_w : Water activity,
- M : Moisture content(% dry solids),
- a, b, n, k : Coefficients

또한 등온흡습곡선 모델과 실험식과의 편차 $P(\%)$ 는 다음과 같이 계산하였다.

$$P(\%) = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|m_i - m_i^*|}{m_i} \quad (l)$$

- m_i, m_i^* : Experimentally observed and predicted by the model value of the EMC
- N : Number of experimental data

회귀식(regression equation)의 도출

상대습도 즉, 수분활성도에 따른 평형수분함량을 예측하기 위한 회귀식은 SPSS for windows program를 이용하여

구하였다.

결과 및 고찰

평형수분함량

건조식품의 안전성은 수분함량, 수분활성도와 저장온도에 따라서 큰 영향을 받는 것으로 알려져 있으며 저장 중 건조식품의 흡습으로 인한 평형수분함량 변화를 분석하는 것이 필요하다(14). 건조방법에 따라 건조 분말두부의 흡습 특성을 알아보하고자 5, 15, 25°C의 온도에서 수분활성도 0.11, 0.33, 0.44, 0.55, 0.66, 0.75, 0.85, 0.93으로 조절된 용기 내에서 평형에 도달하기까지의 수분함량의 변화를 알아보았다. Fig. 1은 동결건조, 진공건조, 열풍건조에서 건조를

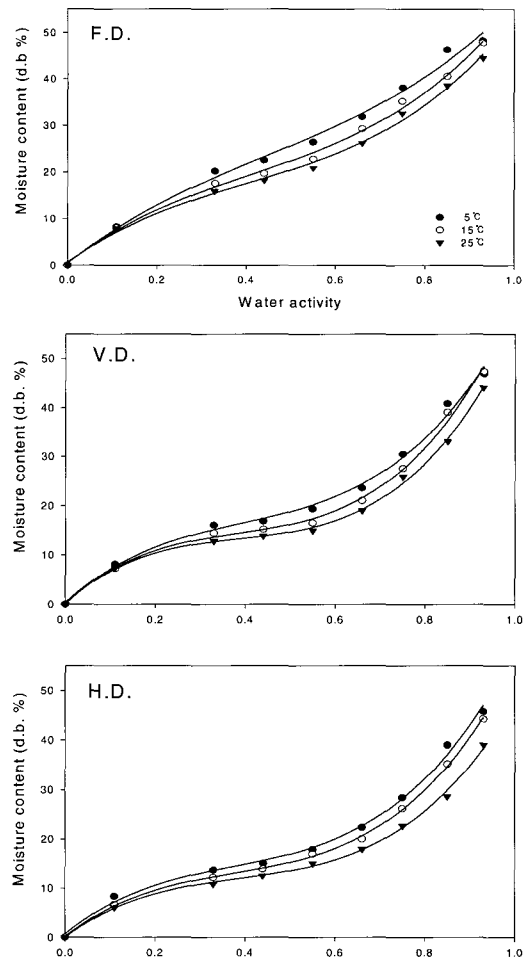


Fig. 1. The isotherm curves of soybean curd powder during storage under various humidities and temperature.

HD ; hot-air drying, VD ; vacuum drying, FD ; freeze drying.

시행한 분말 건조두부의 평형수분함량을 나타낸 것으로 수분활성도에 따라 차이가 있었는데, 높은 상대습도 즉 0.66, 0.75, 0.85, 0.93의 높은 수분활성도에서는 평형에 도달

하는 시간은 길어지고 상대적으로 수분활성도가 낮은 0.11, 0.33, 0.44, 0.55 에서는 비교적 단시간 내에 평형에 도달하였다. 그리고 온도에 따라서도 온도가 높아짐에 따라 평형에 도달하는 시간이 더 짧아지면 낮은 온도보다 초기 흡습이 빠른 것을 나타냈다. 또한 건조방법에 따른 평형수분함량은 동결건조가 열풍건조에 비해 높은 것으로 나타났는데, 이는 동결건조 시 두부의 조직내부가 다공성의 조직으로 이루어져 있는 반면 열풍건조를 시행한 건조두부는 수축과 표면경화현상으로 흡습되는 속도도 느릴 뿐만 아니라 내부로 이동하는 수분도 그만큼 적게 흡습되었다(6). Fig. 1은 식품의 등온흡습곡선 모양인 Sigmoid 형태를 나타내었고 건조온도가 높으면 흡습량이 감소하는 반면 건조온도가 낮으면 흡습량이 증가하였다. 이는 대기 중의 수분용축이 온도가 높을 때보다 낮을 때가 용이하기 때문에 평형수분함량이 더 높게 나타난 것으로 사료되며 이는 Kim(12) 등의 연구결과와 유사하였다. 건조방법에 따라서는 동결건조, 진공건조, 열풍건조 순으로 흡습이 잘 되는 것으로 나타났는데, 흡습에 미치는 물리적인 특성 중 조직구조의 다공성에 따른 차이가 큰 영향을 미치는 것으로 사료된다. 이는 분체의 특성상 공극률이 큰 동결건조가 많은 흡습량을 보였고, 공극률이 상대적으로 적은 열풍건조가 낮은 흡습량을

보였다(15).

단분자층 수분함량

단분자층은 물분자가 다당류의 수산화기, 단백질의 카르보닐기 및 아미노기 등과 같은 고체의 일정한 자리에 강하게 결합되어 있다. 수분이 용매로 작용하지 못하기 때문에 미생물, 효소 및 화학반응을 일으키지 못하므로, 건조분말 제품의 저장 안정범위이며, 등온흡습곡선에서는 수분활성도가 낮은 처음부분에 해당된다. Table 3과 Fig. 2-3의 BET 식은 GAB식에 비해 상대적으로 낮은 R^2 값을 보였으며, 그 값을 계산하여 보면 0.0897~0.2284의 값을 나타냈다. GAB식은 R^2 값이 0.9783이상의 높은 유의성을 보이며 단분자층 수분함량은 0.1050~0.2711의 값으로 나타났다. 건조방법 및 온도변화에 따른 단분자층의 수분함량은 Table 3과 같다.

흡습엔탈피, 자유에너지, 엔트로피 변화

온도, 상대습도 및 건조방법에 따른 건조 분말두부의 흡습엔탈피, 자유에너지, 엔트로피는 Table 4에 나타내었다. 건조 분말두부의 흡습엔탈피는 clausius-clapeyron 변형식(6)을 이용하였고 자유에너지는 gibbs-helmholtz식(13)을

Table 3. The regression coefficient and monolayer moisture content of soybean curd powder determined by BET and GAB equation with different drying method

Drying method	Temp. (°C)	BET equation			GAB equation			
		b1	b0	R ²	C	k	Xm	R ²
Hot-air	5	5.1519	0.6314	0.8615	-5.2700	-1.9956	0.1050	0.9805
	15	4.9796	-0.4696	0.8618	-2.0062	-3.7735	0.1581	0.9870
	25	4.2050	0.1725	0.8965	1.9089	0.4475	0.1519	0.9805
Vacuum	5	5.2437	1.6946	0.8596	-0.2679	-1.7212	0.2337	0.9783
	15	5.3196	-0.3646	0.8365	-0.4791	-1.7764	0.1135	0.9760
	25	4.7465	0.0618	0.8760	0.3218	1.5295	0.1906	0.9824
Freeze	5	5.3898	5.7561	0.9806	-1.3493	-1.3622	0.1191	0.9815
	15	5.2938	3.7754	0.9389	-0.0345	-18.4725	0.2711	0.9866
	25	4.9695	3.2621	0.9547	-0.0764	-4.5157	0.2594	0.9888
Drying method	Temp. (°C)	BET equation			GAB equation			
		C	Xm	R ²	C	k	Xm	R ²
Hot-air	5	40.8417	0.1863	0.9432	-51.9165	0.0643	0.2755	0.9798
	15	-9.6041	0.2271	0.9348	-58.6374	0.0610	0.2683	0.9807
	25	25.3768	0.2284	0.9276	-40.8641	0.0643	0.2241	0.9929
Vacuum	5	4.0943	0.1441	0.9432	-137.508	0.0593	0.3391	0.9725
	15	-13.5902	0.2018	0.9104	-181.08	0.0556	0.3242	0.9550
	25	77.8042	0.2079	0.9024	-40.8091	0.0695	0.2490	0.9709
Freeze	5	1.9364	0.0897	0.9806	163.6263	0.0331	0.5344	0.9946
	15	2.4255	0.1107	0.9837	313.7689	0.0415	0.4607	0.9875
	25	2.5234	0.1215	0.9822	-92.9462	0.0553	0.3589	0.9952

The b0 and b1 represent the intercept and slope of BET equation.

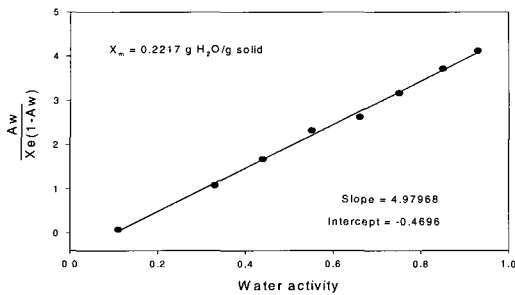


Fig. 2. BET plot for determination of the monolayer moisture content of hot air drying at 15°C.

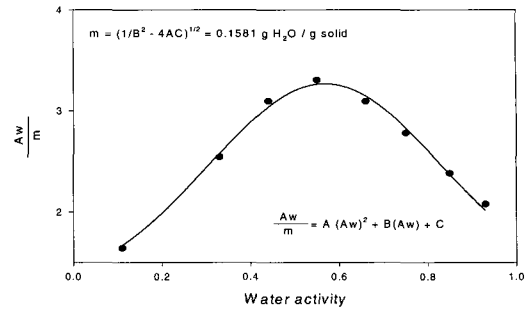


Fig. 3. GAB plot for determination of the monolayer moisture content of hot air drying at 15°C

엔트로피는 엔탈피와 자유에너지의 상관관계를 식(5)를 통해서 계산하였다. 건조방법별로는 큰 차이는 없었으나 수분활성도가 0.11에서 0.93으로 증가할수록 흡습엔탈피의 값은 감소하였으며 등온흡습곡선의 경우 수분활성도가 증가할수록 수분함량이 높아졌으며 수분활성도가 높을수록 필요로 하는 흡습에너지가 낮아져 흡습이 쉽게 이루어짐을 알 수 있다. 이러한 경향은 Apostolopoulos 등(13)의 연구와 유사하게 나타났다. 따라서 분말건조식품의 저장에는 방습

포장 및 적절한 저장조건을 유지시켜 수분의 효과적인 차단이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

등온흡습곡선의 적합도

등온흡습곡선 모델의 적합도를 알아보기 위해 6개의 기존 모델식을 SPSS for windows program 비선형을 이용하여 적합성 여부를 판정한 결과를 Table 5에 나타내었다. 적합도가 가장 높은 모델은 Caurie, Oswin, Henderson 순이었으

Table 4. Thermodynamic parameters for water sorption by different drying method of soybean curd powder

Water content (g water/g solid)	Enthalpy of sorption (kcal/mol)	Free energy of sorption (kcal/mol)			Entropy of sorption (cal/mol.K)		
	Hot-air drying	5°C	15°C	25°C	5°C	15°C	25°C
0.11	1.1738	1.1691	1.1964	1.2335	0.2481	0.2937	0.3632
0.33	0.9189	1.6614	1.6412	1.6397	-1.8948	-1.7803	-1.6540
0.44	0.8621	1.7207	1.7053	1.7190	-2.2900	-2.2368	-2.1340
0.55	0.7822	1.8110	1.7904	1.8010	-2.9227	-2.9097	-2.7645
0.66	0.7047	1.9144	1.9342	1.9349	-3.6395	-3.5125	-3.3746
0.75	0.5992	2.0125	2.0397	2.0660	-4.4915	-4.4125	-4.1933
0.85	0.4843	2.0949	2.1201	2.1636	-5.5401	-5.3980	-5.0409
0.93	0.3738	2.1432	2.2117	2.2492	-6.2549	-6.2344	-6.0285
Water content (g water/g solid)	Vacuum drying	5°C	15°C	25°C	5°C	15°C	25°C
0.11	1.1092	1.1583	1.1320	1.1954	-0.1765	-0.0790	-0.2890
0.33	0.8482	1.5342	1.5281	1.5096	-2.4665	-2.3595	-2.2183
0.44	0.8197	1.5621	1.5586	1.5572	-2.6691	-2.5644	-2.4736
0.55	0.7814	1.6393	1.6059	1.6029	-3.0843	-2.8615	-2.7553
0.66	0.6812	1.7478	1.7441	1.7458	-3.8347	-3.6889	-3.5706
0.75	0.5582	1.8888	1.9002	1.9279	-4.7836	-4.6574	-4.5939
0.85	0.4348	2.0506	2.0996	2.0740	-5.8091	-5.7774	-5.4977
0.93	0.3355	2.1271	2.2101	2.2448	-6.4410	-6.5056	-6.4037
Water content (g water/g solid)	Freeze drying	5°C	15°C	25°C	5°C	15°C	25°C
0.11	1.0780	1.1048	1.0892	1.0655	-0.3274	-0.4109	-0.5216
0.33	0.7564	1.4459	1.4319	1.4120	-3.2535	-3.0707	-2.9627
0.44	0.7041	1.4491	1.5066	1.4983	-3.6549	-3.4745	-3.4041
0.55	0.6416	1.5952	1.6206	1.6064	-4.2042	-3.9869	-3.8887
0.66	0.5439	1.7170	1.7168	1.7109	-4.9273	-4.8251	-4.6655
0.75	0.4575	1.8485	1.8707	1.8494	-5.5906	-5.4911	-5.3950
0.85	0.3915	2.0253	2.0397	1.9873	-6.1241	-5.9990	-5.9436
0.93	0.3314	2.1136	2.1702	2.1712	-6.5138	-6.5253	-6.4322

며, 건조방법이나 온도에 관계없이 결정계수(R-square)값이 0.96~0.99, 0.94~0.99, 0.95~0.98 이상을 보였으며, 그 외 모델식들도 상대적으로 높은 결정계수를 보였는데, Bradley 모델 0.94~0.98, Halsey 모델 0.91~0.98 값을 보였고 Kuhn 모델이 가장 낮은 0.68~0.90 값을 보였다. 온도 및 건조방법에 따라서 그 식에 적용하는 인자들이 값이 달라지므로 얻어진 계수값을 사용하여 예측모델을 계산하면 각 조건에서 예측값을 얻을 수 있다(6). Table 6에서는 온도 및 건조방법에 따라 실험값과 예측값을 P(%)로 나타내어 적합도를 표시하였는데, 값이 낮을수록 높은 적합성을 나타내었다. 가장 높은 적합도를 나타낸 모델은 대체적

으로 Oswin식이 가장 낮은 편차를 보였으며, 동결건조의 경우에는 Caurie식이 가장 낮은 편차를 나타내었다. 또한 위의 모델식은 식품의 종류에 따라 적용식이 달라진다고 하였다(5). 적합도가 높은 Oswin 모델과 실험치의 편차를 Fig. 4에 나타내었다.

평형수분함량 예측

각 온도에서 수분활성도만을 측정하여 식품분말의 평형 수분함량을 추정할 수 있는 방법을 제시하기 위하여 Fig. 1의 데이터에 대해 수분활성도를 독립변수로 하고 평형수분함량을 종속변수로 하여 SPSS for windows program를

Table 5. The regression coefficient and significance values for the absorption model of soybean curd powder with different drying method and temperature

Drying Method	Temp. (°C)	Bradley			Caurie			Halsey		
		lnK ₁	lnK ₂	R ²	ln a	r	R ²	ln a	n	R ²
Hot-air	5	-0.1836	1.5782	0.9578	2.1663	-1.6397	0.9781	5.9126	2.2142	0.9439
	15	-0.1174	1.4489	0.9618	2.1018	-1.7590	0.9847	5.8395	2.1393	0.9813
	25	-0.1089	1.9770	0.9824	1.4833	-2.4609	0.9804	4.5765	1.7689	0.9787
Vacuum	5	-0.1389	2.0604	0.9533	2.2208	-1.5497	0.9698	6.3175	2.2753	0.9413
	15	-0.1428	1.4418	0.9438	1.8988	-1.8900	0.9698	6.7103	2.2572	0.9617
	25	-0.1194	1.4872	0.9614	1.7250	-2.2358	0.9712	5.7797	2.1482	0.9668
Freeze	5	-0.1418	2.3147	0.9634	2.5046	-1.6009	0.9892	6.9112	2.2258	0.9117
	15	-0.1039	2.0434	0.9778	2.2818	-1.8307	0.9890	5.9007	1.9781	0.9454
	25	-0.1037	2.0757	0.9752	2.2480	-1.7148	0.9903	5.0876	1.7696	0.9267
Drying Method	Temp. (°C)	Henderson			Oswin			Kuhn		
		lnK	n	R ²	a	n	R ²	a	b	R ²
Hot-air	5	-7.4841	2.4453	0.9626	14.9774	0.2910	0.9598	-4.5184	15.7767	0.8016
	15	-6.0247	2.0243	0.9732	16.9757	0.3651	0.9871	-4.3711	13.8110	0.9001
	25	-4.4828	1.5342	0.9891	15.8517	0.4394	0.9973	-6.2347	8.8514	0.9075
Vacuum	5	-8.5602	2.7090	0.9509	17.4409	0.3015	0.9549	-4.1489	22.9133	0.7905
	15	-8.8479	2.5294	0.9561	20.6499	0.3531	0.9734	-5.3924	14.3048	0.8935
	25	-5.7652	1.9674	0.9779	17.0715	0.3652	0.9870	-5.9404	11.2367	0.9017
Freeze	5	-11.4140	3.3373	0.9655	26.5678	0.3325	0.9447	-5.6914	21.7617	0.6805
	15	-7.6535	2.3494	0.9756	23.9471	0.2832	0.9691	-5.6079	18.6329	0.7935
	25	-7.1396	2.1842	0.9845	22.5070	0.3221	0.9694	-7.0252	15.6753	0.7923

Table 6. The mean relative percent deviation for the various adsorption models of soybean curd powder with different drying method and temperature

Drying Method	Temp. (°C)	P(%)					
		Bradley	Caurie	Halsey	Henderson	Oswin	Kuhn
Hot-air	5	12.95	11.03	10.74	12.69	8.06	22.24
	15	14.11	9.59	8.38	12.78	7.15	16.78
	25	10.42	10.81	14.90	8.94	3.40	19.92
Vacuum	5	12.23	11.68	9.41	12.98	8.43	20.06
	15	17.21	13.11	16.63	15.63	9.51	16.40
	25	14.20	11.83	12.63	12.78	7.11	17.06
Freeze	5	7.63	5.45	11.13	9.98	8.37	20.51
	15	7.44	5.12	11.20	8.52	6.84	19.59
	25	8.51	6.83	14.39	7.14	6.83	20.44

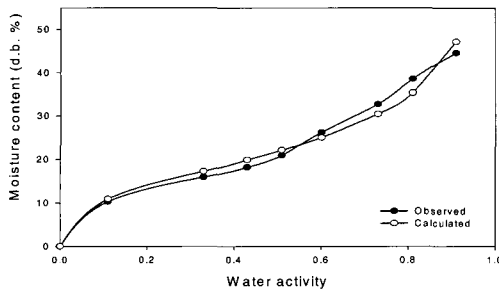


Fig. 4. Fitting the Oswin model to the adsorption isotherm of freeze drying at 25°C.

활용하여 3차식을 회귀분석을 실시한 결과 Table 7를 얻었다. 시료의 건조방법에 관계없이 5, 15, 25°C 온도조건에서 모두 결정계수가 0.98이상의 높은값을 보였으며, 분말 건조두부에서 수분활성도에 따른 평형수분함량의 측정값과 통계에 의한 예측값을 비교하여 본 결과 Fig. 5에서 보는 바와 같이 거의 일치하였다.

습특성과 평형수분함량 예측의 회귀식을 도출하였다. 단분자층 수분함량은 GAB식이 더 높은 유의성을 보였으며 수분흡습을 위한 엔탈피, 자유에너지, 엔트로피의 변화는 큰 차이는 없었으나 수분활성도가 0.11에서 0.93으로 증가할수록 흡습엔탈피의 값은 감소하였으며 등온흡습곡선의 경우 수분활성도가 증가할수록 수분함량이 높아졌으며 수분활성도가 높을수록 필요로 하는 흡습에너지가 낮아져 흡습이 쉽게 이루어짐을 알 수 있다. 평형수분함량 예측은 수분활성도를 독립변수로 평형수분함량을 종속변수로 하여 3차 회귀분석을 하였고, 건조방법에 관계없이 5, 15, 25°C 온도조건에서 모두 결정계수가 0.98이상의 높은 값을 보였다. 등온흡습곡선의 적합도가 가장 높은 모델은 Caurie, Oswin, Henderson 순이었으며, 결정계수(R-square)값이 0.94~0.99이상으로 높은 적합도를 나타내었으며 편차도는 Oswin식이 낮은 편차를 나타내었으며, 동결건조의 경우에는 Caurie식이 가장 낮은 편차를 나타내었다.

Table 7. Regression coefficients for the prediction of equilibrium moisture content with water activity.

Drying Method	Temp. (°C)	Regression coefficients ¹⁾				R ²
		a	b	c	d	
Hot-air	5	79.3329	-61.2234	29.9227	6.9052	0.9915
	15	92.2025	-78.1295	35.8692	5.6282	0.9996
	25	106.4289	-114.3177	57.5119	0.8413	0.9978
Vacuum	5	81.0446	-65.1587	31.8357	8.5890	0.9885
	15	130.4968	-128.5992	55.1754	4.8232	0.9943
	25	107.2530	-102.8267	48.8782	3.3757	0.9984
Freeze	5	-7.2954	47.6519	-1.9416	14.8485	0.9913
	15	18.2292	12.4668	13.1643	10.6519	0.9897
	25	1.7230	34.5780	6.1277	9.3339	0.9980

¹⁾ a, b, c and d constants for the equation $y=ax^3+bx^2+cx+d$ where, x=water, activity y=equilibrium moisture content. HD: hot air drying, VD: vacuum drying FD: freeze drying.

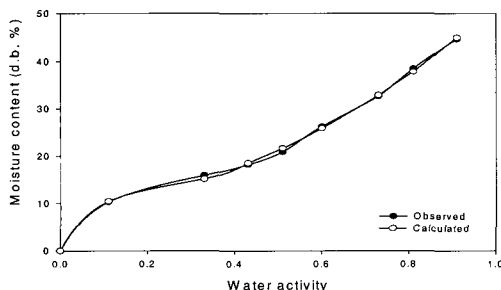


Fig. 5. Comparison of observed and calculated sorption isotherm of freeze drying at 25°C

요 약

건조분말두부의 열풍, 진공 및 동결 건조방법에 따른 흡

감사의 글

본 연구는 2003년도 대구대학교 학술연구조성비의 지원에 의한 논문임

참고문헌

1. Baik, S.H., Kim, M.K., Yun, S.E. and Joo, H.K. (1996) Improvement on textural properties of soybean curd by freeze denaturation of soybean. Korean J. Food Sci. Technol., 28, 267-272
2. Jung, G.T., Ju, I.O., Choi, J.S. and Hong, J.S. (2000) Preparation and shelf-life of soybean curd coagulated by fruit juice of schizandra chinensis ruprecht(Omija) and

- prunus mume (maesil). Korean J. Food Sci. Technol., 32, 1087-1092
3. Kim, H.J., Kim, B.Y. and Kim, M.H. (1995) Rheological studies of the Tofu upon the processing conditions. Korean J. Food Sci. Technol., 27, 324-328
 4. Hong, S.S. (2000) The drying characteristics of food stuff (beet) by freeze drying. J. of Ind. Sci. and Tech Institute, 14, 49-58
 5. Ko, J.W., Lee, W.Y., Lee, J.H., Ha, Y.S. and Lee, Y.H. (1999) Absorption characteristics of dried shiitake mushroom powder using different drying methods. Korean J. Food Sci. Technol., 31, 128-137
 6. Shin, H.K., Hwang, S.H. and Youn, K.S. (2003) Absorption characteristics and prediction model of ginger powder by different drying methods. Korean J. Food Sci. Technol., 35, 211-216
 7. Kim, D.W., Chang, K.S., Lee, U.H. and Kim, S.S. (1996) Moisture sorption characteristics of model food powders. Korean J. Food Sci. Technol., 28, 1146-1150
 8. McLaughlin, C.P. and Magee, T.R.A. (1998) The determination of sorption isotherm and the isosteric heats of sorption for potatoes. J. Food Eng., 35, 267-280
 9. Viollaz, P.E. and Rovedo, C.O. (1999) Equilibrium sorption isotherms and thermodynamic properties of starch and gluten. J. Food Eng., 40, 287-292
 10. Jung, S.H., Chang, K.S. and Park, Y.D. (1993) Prediction of water activity for gelatinized model foods. Korean J. Food Sci. Technol., 25, 94-97
 11. Youn, K.S. (1989) Sorption characteristics and moisture content prediction model of coffee with relative humidity and temperature. M.S. thesis Kyunpook Univ. Daegu.
 12. Kim, H.K., Jo, K.S., Park, M.H., Chang, Y.S. and Shin, Z.I. (1990) Comparison of sorption characteristics of red pepper powders with their seeds mixing ratio. Korean J. Food Sci. Technol., 22, 817-823
 13. Apostolopoulos, D. and Gilbert, S.G. (1990) Water sorption of coffee solubles by frontal inverse gas chromatography: Thermodynamic considerations. J. Food Sci. 55, 475-477
 14. Labuza, T.P., McNally, L., Gallagher, D., Hawkes, J. and Hurtado, F. (1972) Stability of intermediate moisture foods. J. Food Sci., 37, 154-160
 15. Kim, D.M., Chang, K.S. and Yoon, H.K. (1980) Moisture sorption characteristics of powdered soybean curd. Korean J. Food Sci. Technol., 12, 292-298
 16. Park, J.W. (2000) Physical and absorption characteristics of mushroom as influenced by different drying methods. M.S. thesis Daegu Univ. Daegu.

(접수 2004년 12월 20일, 채택 2005년 1월 21일)