

입자크기에 따른 분말 녹차의 흡습특성

윤 광 섭

대구가톨릭대학교 식품산업학부

Absorption Characteristics of Green Tea Powder as Influenced by Particle Size

Kwang-Sup Youn

Dept. of Food Science and Technology, Catholic University of Daegu, Daegu 712-702, Korea

Abstract

Absorption characteristics of green tea powder were investigated. The monolayer moisture content determined by GAB equation was 0.024~0.052 g H₂O/g dry solid. The absorption enthalpy was calculated with different particle size and various water activities. It showed that the absorption energy was decreased with increasing water activity but no difference was found on particle size increasement. Among models applied for predicting equilibrium moisture content, Halsey model was the best fit model for green tea powders, showing the lowest prediction deviation of 2.1~4.0%. The prediction model equations for the water activity was established as function of relative humidity, time and temperature. The model equation will be helpful for future work on drying and storage of green tea powder.

Key words: green tea powder, absorption, isotherm, model

서 론

녹차가 최근 건강식품으로서 인식되면서 1인당 녹차 소비량이 1991년에 8.5 g, 1995년에 10.0 g, 2000년에 37.9 g으로 크게 증가되고 있으며, 재배면적도 1991년에 507 ha, 1995년에 715 ha, 2000년에 1,505 ha로 큰 폭으로 늘어나고 있다. 건강식품으로 인식되고 있는 녹차의 특성에 근거해 음료와 과자 등 다양한 녹차가공품의 개발이 이루어지고 있다(1). 녹차의 효능은 동맥경화와 고혈압 예방 효과, 알코올의 해독작용, 항산화작용과 항균력, 충치 예방, 입 냄새 제거 등 구강위생의 효과 등이 보고되고 있다(2). 분말녹차(말차: 抹茶)란 녹차 잎을 고운 가루로 만든 것으로 물에 녹지 않는 카로틴, 섬유질, 비타민 A, E 등을 그대로 섭취할 수 있는 장점이 있다. 가루녹차는 차로 마시는 것 외에도 우유나 요구르트 등의 음료수에 타 마시거나 아이스크림이나 떡, 수제비, 국수 반죽할 때 넣어 고운 녹색과 함께 깔끔한 맛과 향으로 식욕을 향상시키는 기능이 있다(3). 가루 녹차의 규격은 식품공전(4)에 의하면 성상은 녹차 고유의 색상과 향미를 갖는 분말로 수분은 10.0% 이하, 납(Pb)은 2.0 mg/kg 이하여야 하며 타르와 이물은 검출되어서는 안 되며, 입도는 120 mesh를 70% 이상, 60 mesh는 100% 통과해야한다고 되어 있다.

건조식품은 수분활성도나 저장 온도 등 다양한 요인들에 영향을 받는데 특히 수분활성도에 따라 비효소적 갈변 반응,

지방의 산패, 미생물의 발생 정도가 달라진다. 건조식품의 저장 중 변질을 방지하기 위해서는 흡습특성의 이해가 필요하며, 등온흡습곡선의 작성은 단분자층 수분함량을 결정하고 흡습에 소요되는 에너지를 구함으로서 건조식품의 저장 및 포장조건의 선택시 중요한 기초 자료가 된다(5,6). 분말식품의 경우 분말입자의 크기, 형태, 화학 성분 등과도 밀접한 관련이 있으며, 분말입자의 크기와 형태는 가공 방법에 따라 달라진다. 지금까지 연구되어온 등온흡습곡선을 구하는 여러 가지 모델식들이 제안되고 있으나 식품의 종류에 따라 적용되는 모델식들이 달라진다(7). 건조분말 식품의 흡습에 관한 연구로는 보리의 흡습거동에 관한 연구(8), 전분 분말의 등온흡습곡선에 대한 수학적 모델에 관한 연구(9), 수분활성도 예측(10), 흡착특성 및 흡착량 예측모델(11) 등의 연구가 있다.

따라서 본 연구에서는 현재 상업적으로 널리 사용되고 있는 분말녹차의 흡습특성과 아울러 수분활성도 예측을 위한 모델식을 수립함으로써 분말녹차의 활용성을 높이고 다른 분말식품에서도 적용할 수 있는 기초자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

분말녹차

시판되고 있는 분말녹차(태평양, 한국)를 구입하여 sieve

shaker(제일기계공업, 한국)를 이용하여 200 mesh 이상, 140~200 mesh, 100~140 mesh로 분급하여 사용하였다.

입도분석

분말녹차의 평균입자크기와 분포정도를 알아보기 위하여 particle size analyzer(CILAS, 1064L, France)를 이용하여 시료를 ethanol에 분산시켜 측정하였다.

평형수분함량의 측정

분말녹차의 평형수분함량은 수분활성도 측정기(Thermoconstanter, TH200, Novasina, Swiss)로 측정하였다. 0.2 g의 분말녹차를 chamber 내에 담고 기기 내부의 수분활성도를 포화 염용액을 이용하여 0.11, 0.33, 0.53, 0.75, 0.90로 유지시킨 후 10°C, 20°C, 30°C의 온도에서 수분활성도의 변화가 없을 때까지 흡습시켜 평형수분함량을 구하였다.

단분자층 수분함량의 결정

단분자층 수분함량은 BET equation과 GAB equation에 적용하여 결정하였다.

$$\text{BET equation } \frac{Aw}{m(1-Aw)} = \frac{1}{m_1C} + \frac{C-1}{m_1C} Aw \quad (1)$$

$$\text{GAB equation } m = \frac{m_1 C k Aw}{(1-kAw)(1-kAw + CkAw)} \quad (2)$$

Aw: Water activity

m: Equilibrium moisture content (g)

m₁: Monolayer moisture content (g)

C, k: Experimental constants

흡습엔탈피의 결정

평형수분함량에 도달하는데 필요한 흡습엔탈피 ΔHs는 Clausius-Clapeyron의 변형식을 이용(12)하여 구하였다.

$$-\ln P = \frac{\Delta H_s}{RT} \quad (3)$$

P: Vapor pressure at temperature T

ΔHs: Absorption enthalpy (cal/mol)

R: Gas constant (1.987 cal/mol·K)

T: Absolute temperature (K)

등온흡습곡선 모델식의 적합성

지금까지 연구된 모델식(9) 중 여러 가지 식품에 비교적 잘 적용되는 6가지 식들을 이용하여 분말녹차의 평형수분함량 예측할 수 있는 모델식의 적합성을 알아보았다.

$$\text{Bradley equation } \ln \frac{1}{Aw} = K_2 K_1^M \quad (4)$$

$$\text{Kuhn equation } M = \frac{a}{\ln Aw} + b \quad (5)$$

$$\text{Caurie equation } \ln M = \ln A - rAw \quad (6)$$

$$\text{Halsey equation } Aw = \exp(-a/M^n) \quad (7)$$

$$\text{Henderson equation } 1 - Aw = \exp(-KM^n) \quad (8)$$

$$\text{Oswin equation } M = a \left(\frac{Aw}{1-Aw} \right)^n \quad (9)$$

M: Equilibrium moisture content (d.b.)

Aw: Water activity

Other alphabet: Experimental constants

또한, 등온흡습곡선 모델과 실험식과의 편차 P(%)는 다음 식에 의해 계산되었다.

$$P(\%) = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Mi - Mi^*|}{Mi} \quad (10)$$

Mi: Experimental moisture content

Mi*: Moisture content on the curve represented by isotherm model equations

n: number of data

수분활성도 예측모델

SPSS package program을 이용하여 평형에 도달하기까지의 수분활성도의 변화를 종속변수로 시간과 상대습도, 온도를 독립변수로 하여 각 상호관계를 여러 가지 함수로 분석하여 최적함수를 선정한 후 상대습도, 상대습도와 시간, 상대습도와 시간 및 온도에 대하여 예측모델을 수립하였다.

결과 및 고찰

분말녹차의 크기

분말녹차의 평균입자의 크기는 Table 1에서 보는 바와 같이 53.83 μm이었으며 입자크기가 작은 것부터의 누적 50%의 직경은 48.61 μm, 90%의 직경은 108.50 μm로 나타나 식품공전에서 정하는 품질규격인 충족하고 있었다. Tyler 표준체에 의한 분리된 입자의 크기는 100~140 mesh가 56.00 μm, 140~200 mesh가 54.29 μm, 200 mesh를 통과한 입자의 크기는 52.26 μm로 나눌 수 있었다.

온도와 수분활성도에 따른 평형수분함량

입자의 크기가 다른 분말녹차의 온도 및 수분활성도에 따른 등온흡습곡선을 Fig. 1에 나타내었다. 전 구간에서 입자 크기에 관계없이 10°C에서의 평형수분함량이 가장 높은 것으로 나타났으며, 이는 낮은 온도에서 대기 중의 수분을 더 많이 응축하기 때문에 평형수분함량이 높게 나타난 것으로 Kim 등(13)의 연구 결과와 유사하였다. 분말녹차의 경우 평형수분함량이 수분활성도 0.9에서 약 21~28% 정도로 흡습에 비교적 안정하여 분말의 물성을 안정하게 유지할 수 있을 것으로 판단되었다.

Table 1. Average particle size of commercial green tea powder

	Particle size (μm)			
	Green tea powder	>200 mesh	200~140 mesh	140~100 mesh
Diameter at 10%	6.95	6.51	6.30	6.62
Diameter at 50%	48.61	48.22	48.36	47.66
Diameter at 90%	108.50	103.56	111.17	116.96
Mean diameter	53.83	52.26	54.29	56.00

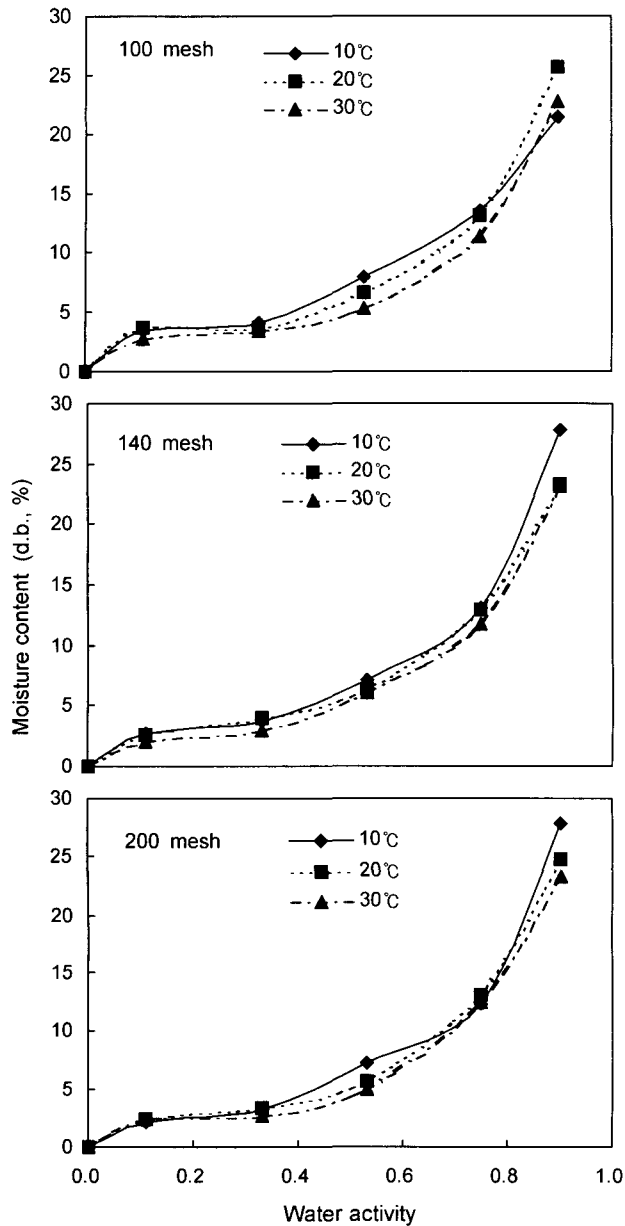


Fig. 1. Isothermal absorption curves of green tea powder by different particle size.

단분자층 수분함량

건조식품의 저장안정성을 나타내는 단분자층 수분함량을 BET식과 GAB식을 이용하여 얻은 계수 값을 Table 2에 나타내었다. BET식에 적용하였을 경우에도 R²가 0.94~0.99의 비교적 높은 유의성이 있었으나 GAB식에 적용한 결과 전 구간에서 R²가 0.99~1.0으로 높은 유의성을 가져 본 연구에서의 단분자층 수분함량을 예측하는데 더 유리한 것으로 나타났다. GAB 식에 의해 계산된 단분자층 수분함량은 0.024~0.052 g H₂O/g dry solid로 물분자가 carboxyl group이나 amino group과 이온결합으로 polar bond를 형성하여 수분활성도가 낮은 곡선 부분을 말한다. Sukumar 등(14)은 양파 추출 분말에 대한 흡습특성 연구에서 온도가 내려감에 따라서 단분자층 수분함량은 다소 올라가는 경향을 보였다고 보고하였는데 본 연구에서도 높은 온도에서 낮은 수분함량을 나타내어 유사한 연구결과를 나타내었으나 입자크기가 증가함에 따라 수분함량도 증가하는 것으로 나타났다.

흡습엔탈피

입자크기가 다른 분말녹차의 흡습 시 요구되는 엔탈피를 Table 3에 나타내었다. 분말녹차의 입자크기에 따라서는 큰 차이가 없으나 수분활성도가 0.11에서 0.90으로 증가함에 따라 흡습엔탈피의 값은 급격히 감소되는 경향을 보였다. 등은 흡습곡선을 보면 수분활성도가 증가할수록 수분함량이 높아졌는데 수분활성도가 높을수록 필요로 하는 흡습에너지가 낮아져 흡습이 쉽게 이루어짐을 알 수 있었다. 이러한 경향은 Apostolopoulos와 Gilbert(12)의 연구결과와 유사하게 나타났다. 분말녹차의 흡습엔탈피를 살펴보면 0.11에서 1200

Table 3. The absorption enthalpy of green tea powder by different particle size and water activity

Water activity	Enthalpy of sorption (cal/mol)		
	>200	200~140	140~100
0.11	1191.35	1200.66	1186.95
0.33	644.25	643.65	643.05
0.55	360.22	363.78	359.17
0.75	166.63	166.38	165.86
0.90	59.61	72.37	68.11

Table 2. The regression coefficients and monolayer moisture content of green tea powder determined by BET and GAB equation with different particle size

Sample (mesh)	Temp (°C)	BET equation				GAB equation				
		C	m ₁	SigF	R ²	C	k	m ₁	SigF	R ²
>200	10	2.110	0.078	0.005	0.949	-1.893	0.667	0.032	0.003	0.997
	20	2.068	0.086	0.001	0.986	-1.884	0.649	0.034	0.003	0.997
	30	2.049	0.080	0.003	0.967	-1.881	0.672	0.024	0.001	0.999
200~140	10	2.065	0.098	0.002	0.976	-1.884	0.648	0.039	0.001	0.999
	20	2.061	0.095	0.002	0.970	-1.884	0.604	0.052	0.005	0.995
	30	2.094	0.074	0.003	0.964	-1.890	0.661	0.030	0.001	0.999
140~100	10	2.002	0.122	0.003	0.962	-1.874	0.621	0.048	0.002	0.998
	20	1.987	0.120	0.007	0.935	-1.872	0.647	0.037	0.000	1.000
	30	2.013	0.097	0.000	0.995	-1.874	0.619	0.040	0.010	0.990

cal/mol 정도였으며 0.90에서 200 mesh 이상의 분말에서 흡습엔탈피가 상대적으로 낮았는데, 이는 입자크기가 작아 표면적의 증대로 흡습하는데 가장 적은 에너지를 방출한다고 보고한 Cadden(15)의 결과와 일치하였다.

등온흡습곡선의 적합도

흡습곡선 모델의 적합도를 알아보기 위해 기존 모델식을 이용하여 적합도를 조사하여 Table 4에 나타내었다. Bonquet 등의 보고(16)에 의하면 두개의 인자를 이용하여 나타낸 등온 흡습곡선 모델식 중 위의 6개의 모델식이 가장 높은 적합도를 나타낸다고 보고하여 본 연구에서도 6개의 모델식에 적용한 결과 가장 높은 적합도를 나타낸 식은 Halsey 모델로 입자의 크기나 온도에 관계없이 결정계수가 0.96이상의 적합도를 보여 분말녹차의 평형수분함량을 예측할 수 있는 모델식으로 활용이 가능함을 알 수 있었고, Khun, Caurie, Oswin 모델식이 비교적 높은 결정계수를 보였다. Table 5에서는 본 연구에서 높은 적합성을 보인 Halsey, Oswin, Khun 및 Caurie 등 4개의 모델식을 선정하여 각 시료별로 온도에 따른 실험값과 예측모델에 의한 계산 값으로 편차 P(%)로서 적합도를 표시하였는데 P(%)값이 낮을수록 높은 적합성을 나타내었다. 입자크기나 온도에 관계없이 가장 높은 적합도를 나타낸 모델식은 Halsey 모델로 2.1~4.0%의 편차를 보여 분말녹차의 등온흡습곡선 모델로 사용 가능함을 알 수 있었다. Fig. 2에서는 측정된 평형수분함량과 Halsey, Oswin 및 Khun 모델에 의하여 계산된 수분함량을 나타낸 결과로서 세 모델식 모두 적절한 모델식임을 확인할 수 있었다.

Table 5. The mean relative percent deviation for the various absorption models of green tea powder with different particle size

Sample (mesh)	Temp. (°C)	P (%) ¹⁾			
		Halsey	Oswin	Khun	Caurie
>200	10	1.94	5.16	7.34	38.64
	20	3.26	5.98	6.20	38.36
	30	5.69	7.86	3.43	38.47
	Average	3.63	6.33	5.66	38.49
200	10	2.13	6.22	4.89	38.25
	20	1.53	3.86	9.46	37.85
	30	2.71	4.76	8.72	38.45
	Average	2.12	4.95	7.69	38.19
~140	10	4.04	3.98	8.41	36.89
	20	4.97	8.63	1.01	37.66
	30	3.10	7.46	2.62	37.83
	Average	4.04	6.69	4.02	37.46

¹⁾P (%): Mean relative percent deviation.

수분활성도 예측모델

분말녹차의 흡습 중 수분활성도를 예측하기 위한 모델식을 수립하였다. 먼저 각 독립변수에 따른 종속변수의 변화를 알아보고자 산포도를 그린 후 적절한 함수를 선택하여 가장 적합도가 높은 함수를 선정하였다(17). 즉, 시간의 변화에 따른 분말녹차의 흡습 중 수분활성도를 예측하기 위하여 온도 및 상대습도를 달리하여 최적함수를 구한 결과 시간에 대해서는 ln 함수가 대부분의 구간에서 가장 높은 적합도를 보여 저장시간에 따른 수분활성도를 예측하기 위한 모델로

Table 4. The regression coefficient and significance values for the absorption model of green tea powder with different particle size

Sample (mesh)	Temp. (°C)	Bradley				Kuhn				Caurie			
		lnK ₂	lnK ₁	SigF	R ²	b	a	SigF	R ²	ln A	r	SigF	R ²
>200	10	0.525	-10.774	0.013	0.903	0.017	-0.028	0.000	0.991	-4.326	3.192	0.002	0.976
	20	0.587	-12.151	0.010	0.917	0.020	-0.025	0.002	0.976	-4.247	2.985	0.003	0.966
	30	0.554	-12.712	0.012	0.907	0.017	-0.024	0.002	0.971	-4.344	2.996	0.007	0.937
200~140	10	0.579	-10.916	0.013	0.904	0.021	-0.028	0.000	0.991	-4.095	2.914	0.003	0.967
	20	0.708	-13.432	0.007	0.935	0.026	-0.023	0.002	0.972	-4.087	2.781	0.001	0.983
	30	0.599	-13.127	0.009	0.926	0.019	-0.023	0.001	0.980	-4.369	3.076	0.001	0.981
140~100	10	0.943	-15.475	0.004	0.956	0.038	-0.020	0.007	0.938	-3.795	2.410	0.002	0.969
	20	0.657	-12.051	0.015	0.896	0.026	-0.025	0.001	0.985	-3.887	2.556	0.011	0.913
	30	0.619	-13.477	0.014	0.897	0.021	-0.022	0.001	0.989	-4.105	2.666	0.006	0.941
Sample (mesh)	Temp. (°C)	Halsey				Henderson				Oswin			
		ln a	n	SigF	R ²	ln K	n	SigF	R ²	ln a	n	SigF	R ²
>200	10	-3.657	-1.148	0.001	0.987	2.455	1.090	0.009	0.925	-2.729	0.002	0.000	0.973
	20	-3.886	-1.220	0.001	0.986	2.624	1.141	0.015	0.895	-2.754	0.004	0.000	0.956
	30	-3.893	-1.183	0.003	0.963	2.579	1.087	0.027	0.845	-2.844	0.010	0.000	0.919
200~140	10	-3.828	-1.253	0.000	0.990	2.576	1.173	0.013	0.902	-2.637	0.003	0.000	0.963
	20	-4.102	-1.327	0.000	0.995	2.877	1.260	0.008	0.932	-2.696	0.001	0.000	0.980
	30	-3.903	-1.194	0.001	0.988	2.684	1.132	0.009	0.922	-2.830	0.002	0.000	0.972
140~100	10	-4.411	-1.500	0.002	0.968	3.156	1.419	0.014	0.899	-2.589	0.005	0.000	0.949
	20	-4.086	-1.364	0.004	0.955	2.711	1.235	0.036	0.814	-2.608	0.014	0.000	0.899
	30	-4.254	-1.346	0.001	0.982	2.909	1.236	0.023	0.860	-2.771	0.007	0.000	0.937

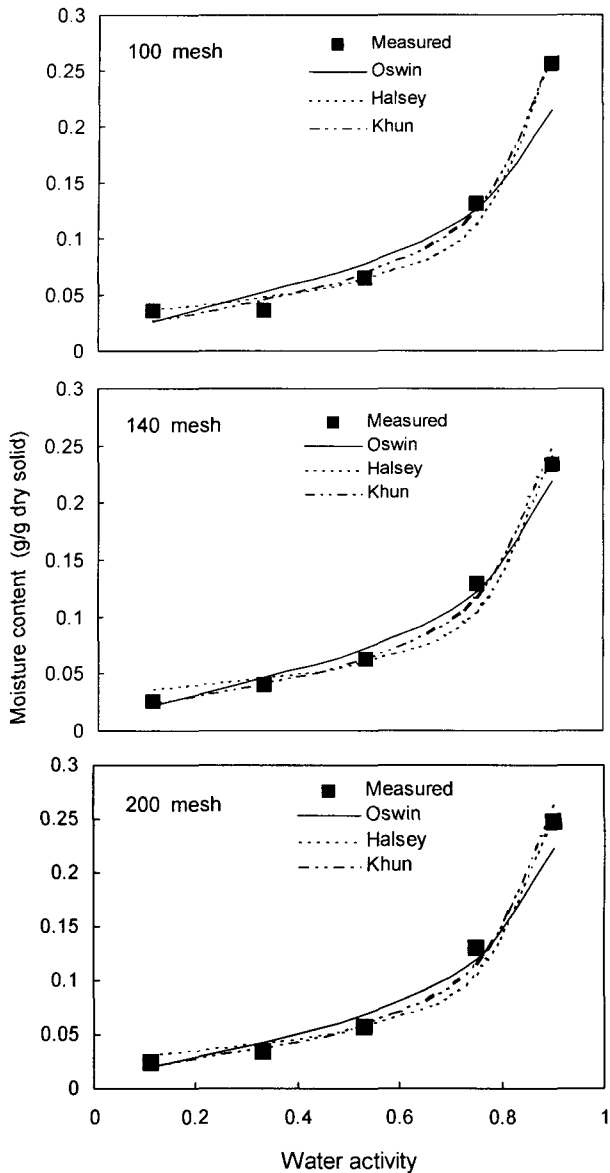


Fig. 2. Comparison of measured and calculated values by the model equations on equilibrium moisture content of green tea powder at 20°C.

선정하였다. 상대습도와 온도에 따른 수분활성도의 변화는 일차식의 선형이 가장 높은 적합도를 보였다. 따라서 Table 6에 분말녹차의 수분활성도를 예측하기 위해 수립된 모델식을 나타내었다. 첫 번째 모델식은 가장 높은 유의성을 나타낸 상대습도만을 독립변수로 할 경우이고, 두 번째 모델식은 상대습도와 시간을 변수로 한 선형회귀 모델식이며, 세 번째 모델식은 상대습도와 시간 및 온도를 변수로 하여 모델식을 수립하였다. 이때 두 번째 모델식의 R²값이 0.907~0.974로 높은 적합도를 보였고 세 번째 모델식의 적용에서는 R²가 약간 증가함을 보여 온도에 따라서는 큰 상관관계를 보이지는 않았다. 따라서 시간과 상대습도를 독립변수로 하는 두 번째 모델식의 적용으로 흡습 중 수분활성도의 예측을 통해 분말녹차의 최적 저장조건을 결정하는데 활용 가능함을 확인하였다.

요 약

분말녹차의 저장안정성을 알아보기고자 200 mesh이상, 200~140 mesh, 100~140 mesh로 입자크기에 따라 분급하여 흡습특성을 조사하고 수분활성도 예측 모델식을 수립하였다. 단분자층 수분함량은 BET식보다 GAB식이 더 높은 유의성을 보여 전구간에서 0.99~1.00으로 높은 적합도를 보였으며 그 함량은 0.024~0.052 g H₂O/g dry solid로 계산되었다. 평형수분함량은 입자크기에 작을수록, 낮은 온도에서 높은 평형수분함량을 나타내었다. 입자크기에 따른 흡습엔탈피도 큰 차이가 없었으나 수분활성도가 증가함에 따라 낮은 흡습에너지를 보였다. 등온흡습곡선의 적합도는 Halsey 모델이 R²가 0.96 이상으로 높은 적합도를 나타내었고 Oswin, Khun, Caurie 모델의 순으로 높은 적합도를 나타내었으며, 편차도 Halsey 모델이 2.1~4.0%로 가장 낮게 나타나 분말녹차의 흡습특성에 적용가능함을 보였다. 수분활성도 예측모델의 수립을 위해 각 독립변수의 최적함수로 시간은 ln 함수, 상대습도와 온도는 일차식을 선정하였으며 수분활성도 예측 모델식은 입자의 크기에 관계없이 상대습도와 시간으로 수

Table 6. The linear regression parameter coefficients of the prediction model equations for water activity with time, relative humidity and temperature of green tea powder

Model	Independent variables	>200			200~140			140~100		
		Coefficients	Std. error	R ²	Coefficients	Std. error	R ²	Coefficients	Std. error	R ²
I ¹⁾	Constant	5.286	1.323	0.897	5.288	0.940	0.947	7.255	1.178	0.913
	RH	88.350	1.933		86.580	1.350		85.576	1.672	
II ²⁾	Constant	6.170	1.269	0.907	7.385	0.667	0.974	9.148	0.892	0.951
	RH	84.120	2.011		79.397	1.043		77.215	1.386	
	ln(time)	2.052	0.396		3.081	0.195		3.558	0.253	
III ³⁾	Constant	8.916	1.792	0.909	5.369	0.873	0.976	5.365	1.126	0.956
	RH	83.861	1.999		79.274	1.020		76.771	1.323	
	ln(time)	1.931	0.397		3.201	0.194		3.804	0.246	
	Temperature	-0.131	0.061		0.106	0.031		0.207	0.040	

¹⁾The model Eq. is Water activity = a (Constant) + b (RH). ²⁾The model Eq. is Water activity = a (Constant) + b (RH) + c (ln(time)).

³⁾The model Eq. is Water activity = a (Constant) + b (RH) + c (ln(time)) + d (Temperature).

립한 모델식의 적합도가 적절한 것으로 나타났다.

문헌

1. Lee KCR. 2004. A study on the life style of green tea. *J Kor Tea Soc* 10: 7-24.
2. Park JH, Kim YO, Kug YI, Cho DB, Choi HK. 2003. Effects of green tea powder on noodle properties. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 32: 1021-1025.
3. Kim KS, Kouzkue N, Han JS. 2004. Comparison of the ingredients at powdered green teas commercialized Korea and Japan. *Korean J Food Culture* 19: 177-183.
4. 식품공전. 2002. 한국식품공업협회. 문영사, 서울. p 248-249.
5. Diosady LL, Rizvi SSH, Cai W, Jagdeo DJ. 1996. Moisture sorption isotherms of canola meals and applications to packaging. *J Food Sci* 61: 204-208.
6. Song JC, Park HJ. 1995. Physical, functional, textural and rheological properties of foods. Ulsan Univ. Press, Ulsan. p 216-225.
7. Kim DW. 1992. A study on the flow ability and absorption of model food powders. *PhD Dissertation*, Chungnam Univ., Daejeon.
8. Basunia MA, Abe T. 2005. Adsorption isotherms of barley at low and high temperature. *J Food Engineering* 66: 129-136.
9. Al-Muhtaseb AH, McMinn WAM, Magee TRA. 2004. Water sorption isotherms of starch powders Part I. Mathematical description of experimental data. *J Food Engineering* 61: 297-307.
10. Jung SH, Chang KS, Park YD. 1993. Prediction of water activity for gelatinized model foods. *Korean J Food Sci Technol* 25: 94-97.
11. Youn KS. 1989. Sorption characteristics and moisture content prediction model of coffee with relative humidity and temperature. *MS Thesis*. Kyungpook Univ., Daegu.
12. Apostolopoulos D, Gilbert SG. 1990. Water sorption of coffee solubles by frontal inverse gas chromatography: thermodynamic considerations. *J Food Sci* 55: 475-477.
13. Kim HK, Jo KS, Hawer WD, Shin DH. 1988. Browning and sorption characteristics of garlic powder with relative humidity and storage temperature. *Korean J Food Sci Technol* 20: 399-404.
14. Sukumar D, Hermavathy J, Bhat KK. 2002. Moisture sorption studies on onion powder. *Food Chem* 78: 479-482.
15. Cadden AM. 1987. Comparative effects of particle size reduction on physical structure and water binding properties of several plant fibers. *J Food Sci* 52: 1595-1599.
16. Bonquet R, Chrife J, Igleasis HA. 1978. Equations for fitting water sorption isotherms of foods; II. Evaluation of various two-parameter model. *J Food Technol* 13: 319-322.
17. Bonquet R, Chrife J, Igleasis HA. 1978. Equations for fitting water sorption isotherms of foods; I. A review. *J Food Technol* 13: 159-163.

(2004년 9월 13일 접수; 2004년 11월 16일 채택)