

수분활성과 온도변화에 따른 커피의 흡착특성 및 흡착량 예측모델

윤광섭 · 최용희
성북대학교 식품공학과

Adsorption Characteristics and Moisture Content Prediction Model of Coffee with Water Activity and Temperature

Kwang-Seop Youn and Yong-Hee Choi

Department of Food Engineering, Kyungpook National University, Taegu

Abstract

The adsorption characteristics of coffee were investigated at 5, 15, 25 and 35°C under various water activities such as 11, 32, 57, 75 and 90% and prediction models were developed by optimization program. The moisture adsorption isotherm curves were similar to the typical sigmoid type. The values of equilibrium moisture content and the monolayer moisture content were highest in the Freeze Dried, which was due to porous structure by the drying method. In the result of adjusting the isotherm models in this paper, Halsey model generally gave the best fit for isotherms of coffee. Prediction model for equilibrium moisture content was established with water activity and temperature. Adsorption prediction models were also developed with water activity, with water activity and time, and with water activity, time and temperature, respectively.

Key words : coffee, adsorption, prediction model, water activity and temperature

서 론

커피는 원래 서구문명의 음료로 우리나라에 도입된지는 100년을 조금 넘은 정도이지만 한국통란 이후 서구문명의 급속한 전파와 함께 국내 제일의 대중 기호음료로 계속적인 소비량의 증가추세를 보이고 있으나 국내에서는 커피에 관한 연구논문의 보고가 거의 없는 실정이다¹.

커피와 같은 건조 분말제품은 수분함량에 따라 제품의 품질이 크게 영향을 받게 되는데 수분함량은 제품에 주어진 환경의 수분활성에 의해 좌우되며 점도에 따라 비효소 갈색화 반응, 지방의 산패, 미생물의 발생 등을 초래한다²⁾.

식품변질을 방지하기 위한 안전 수분함량의 추정, 가공 및 포장시 대기로부터의 흡착에 대한 안전 한계규명 및 안전 저장기간의 연장을 위한 기초자료로 이용되는 등온흡착곡선은 여러 모델^{3,4)}로 표현되며 흡착특성을 연구하는데 이용된다.

건조 분말제품의 흡착에 관한 연구로는 분말두부⁵⁾, 분말된장⁶⁾ 등 많은 연구보고가 있으며 등온흡착곡선의

적합도에 관한 연구로는 포장감⁷⁾, 탈지대두분해물⁸⁾ 등에 대한 연구보고가 있으며 평형수분함량을 예측하기 위해 회귀분석을 실시하여 모델식을 도출한 것으로는 분말고추⁹⁾에 대한 것 등이 있다.

따라서 본 연구에서는 기호성 식품인 커피의 제조공정 중 추출시 건조방법의 차이에 따른 제품의 흡착특성을 조사하고 또한 기존의 등온흡착곡선 모델과의 적합도를 분석하며 아울러 수분활성과 온도의 변화에 따른 평형 수분함량을 예측할 수 있는 예측모델과 상대습도, 온도 및 시간의 변화에 따른 흡착량의 변화를 예측할 수 있는 예측모델을 수립함으로써 건조 분말제품의 적정 저장조건 등을 설정하는데 기초자료로서 크게 활용되어지리라 생각되어진다.

재료 및 방법

재료

본 실험에 사용된 커피는 국내에서 제조 시판되고 있는 제품으로 추출시 건조방법에 따라 동결 건조제품(Freeze Dried : F.D.), 열풍분무 건조제품(Spray Dried : S.D.), 열풍분무 건조제품을 과립화한 제품(Granulated after Spray Dried : S.D.(G))으로 구분 사용하였고 초기 수분함량은 105°C 상압가열건조법으로 구했으며 각각 5.22,

Corresponding author : Yong-Hee Choi, Department of Food Engineering, College of Agriculture, Kyungpook National University, Sankyuk-dong 1370, Pook-gu, Taegu 702-701, Korea

6.09, 5.38%(dry basis)였다.

평형수분함량

Young⁽¹⁰⁾, Rockland^(11,12), 의 방법에 준하여 각종 염 용액으로 수분활성도를 11~90%로 포화시킨 데시케이 터내에 시료 각 1g을 정확히 칭량하여 소형 알루미늄 호일용기에 넣고 저온정온기(6350×770×1040 mm, 영국, LEEC Ltd.)로 5, 15, 25 및 35℃로 항온 방치시키면서 11일간 24시간 간격으로 칭량하여 최초 수분함량을 기준으로 무게 증감량으로부터 결정하였다.

단분자층 수분함량

커피지장의 최대 안전범위인 단분자층 수분함량을 결정하기 위하여 Brunauer-Emmett-Teller 식 (BET식)⁽¹³⁾을 적용하였다.

$$\frac{A_w}{m(1-A_w)} = \frac{1}{m_1c} + \frac{c-1}{m_1c} A_w \quad (1)$$

A_w : 수분활성(ERH/100)

m : 평형수분함량(dry basis %)

c : 상수

m₁ : 단분자층 수분함량(dry basis %)

등온흡착곡선의 적합성

본 실험에서 적용한 기존의 등온흡착곡선 모델은 다음과 같다.

Bradley equation $\ln \frac{1}{A_w} = K_2 \cdot K_1 M$

Kuhn equation $M = \frac{a}{\ln A_w} + b$

Caurie equation $\ln M = \ln A - r \cdot A_w$

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

Henderson equation $1 - A_w = \exp(-K \cdot M^n)$

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

Mizrahi equation $A_w = \frac{b + M}{a + M}$

M : 평형수분함량

A_w : 수분활성도

Other Alphabets : 상수

등온흡착곡선 모델과 실험치와의 편차 P(%)는 식 (2)로부터 계산하였다.

$$P(\%) = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|M_i - M_i^*|}{M_i} \quad (2)$$

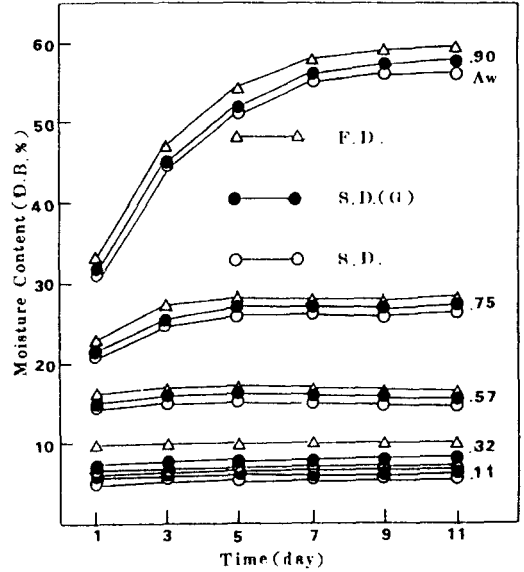


Fig. 1. Changes in moisture content of coffee powder under various water activities at 25°C

M_i : 실험치의 평형수분함량

M_i^{*} : 등온흡착곡선 모델의 평형수분함량

n : 실험치의 개수

예측모델

SPSS Package program을 이용하여 흡착량을 종속변수인 수분활성과 온도 및 시간을 독립변수로 하여 각 상호관계를 함수로 분석한 다음 수분활성, 수분활성도와 시간, 수분활성도와 시간온도에 대하여 예측모델을 수립하였으며 수분활성도와 온도에 대한 함수로서 평형수분함량 예측모델을 수립하였다.

결과 및 고찰

수분활성에 따른 평형수분함량

커피의 각 시료별 흡착으로 인한 수분함량은 수분활성에 의해 크게 영향을 받음을 알 수 있었으며, 25°C에서의 시료별 흡착거동은 Fig. 1과 같다.

세 종류의 시료 모두 비슷한 흡착양상을 보였으며 이와 같은 결과는 김 등⁽⁹⁾이 보고한 분말고추에서의 결과와 유사한 경향을 보였으며, 세 시료 중 동결 건조제품의 흡착량이 가장 많았는데 이는 추출시 건조방법에 의해 생성된 다공성 구조에 기인한 것으로 사료된다.

Fig. 2는 온도변화에 따른 동결 건조제품의 수분함량 변화를 57, 75, 90%의 수분활성도하에서 나타낸 것으로 낮은 수분활성도에서는 낮은 온도에서 더 많은 흡착량을

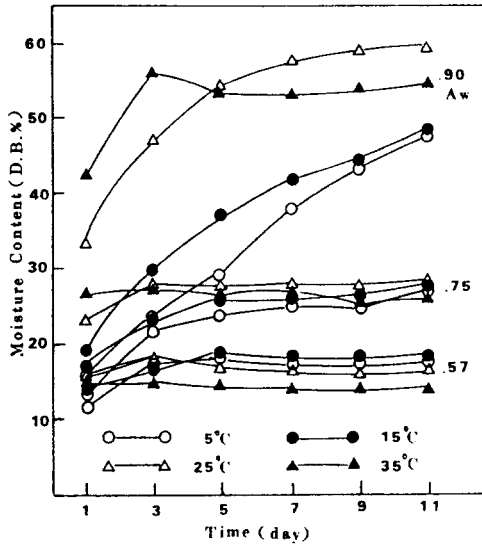


Fig. 2. Changes in moisture content of freeze dried under various water activities at different storage temperatures

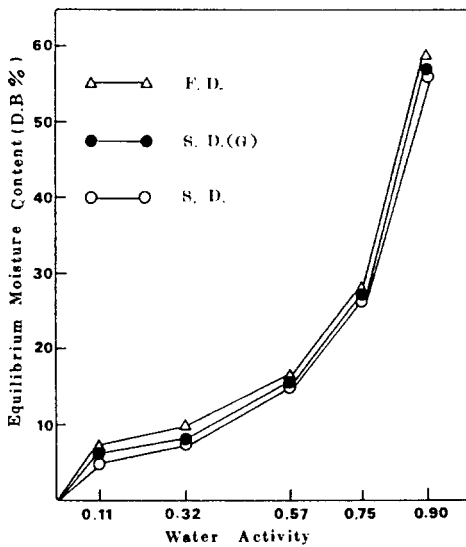


Fig. 3. The isotherm curves of coffee powder at 25°C

보인 반면에 높은 수분활성도에서는 낮은 온도에서 더 적은 흡착량을 보였는데 이는 고농도 당분식품에서 일어나는 현상으로 식품성분 중 당류의 용해성이 증가하기 때문으로 Mazza⁽¹⁴⁾의 결과와 유사하였다.

등온흡착곡선

25°C에서 수분활성도에 따른 평형수분함량과의 관계를

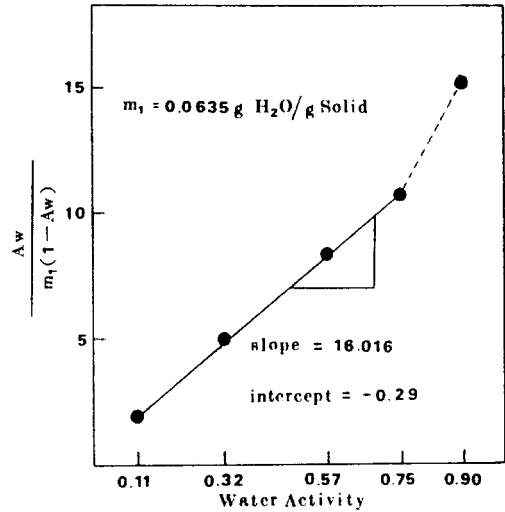


Fig. 4. BET plot for determination of the monolayer moisture content of Freeze Dried at 25°C

Table 1. The monolayer moisture content of coffee powder at different storage temperatures (g H₂O/100g solid)

	Freeze dried	Granulated after S.D.	Spray dried
5°C	5.57	5.49	5.18
15°C	5.46	5.21	5.13
25°C	6.35	6.12	5.98
35°C	5.88	5.60	5.41

나타낸 등온흡착곡선은 Fig.3과 같다. 세 시료 모두 낮은 수분활성도에서 변곡점을 보이며 그 이후로 수분활성도에서 변곡점을 보이며 그 이후로 수분활성도의 증가에 따라 평형수분함량이 급격하게 증가하는 전형적인 Sigmoid 형태로 일반적인 식품의 흡착거동과 유사하였으며 세 시료 중 동결 건조제품이 가장 높게 나타났다.

단분자층 수분함량

건조 분말제품의 최대저장 안정범위인 단분자층 수분함량은 등온흡착곡선상의 수분활성도가 낮은 부분, 즉 물분자가 carboxyl 및 amino group과 같은 극성기와 이온결합하여 polar bond를 형성한 부분으로 식 (1)을 이용하여 결정하였으며 Fig.4에서 보는 바와 같이 25°C 동결건조제품의 경우 단분자층 수분함량값이 6.35%이었고 온도변화에 따른 시료별 단분자층 수분함량은 Table 1에서 보는 바와 같다.

등온흡착곡선의 적합도

본 실험에서 적용된 기존의 등온흡착곡선 모델에 대해

Table 2. Mean relative percentual deviations on equilibrium moisture content of coffee powder on different isotherm models

		P(%)						
		Bradley	Kuhn	Caurie	Halsey	Henderson	Oswin	Mizrahi
F.D.	5°C	23.14	18.03	6.93	3.64	14.16	6.13	62.39
	15°C	20.72	16.36	7.76	3.48	13.44	4.99	70.33
	25°C	40.20	5.73	15.99	5.26	24.05	12.82	53.50
	35°C	45.14	8.93	16.08	5.69	24.59	15.15	54.77
	Average	32.30	12.26	11.69	4.52	19.06	9.77	60.25
S.D. (G)	5°C	31.26	20.43	12.43	10.13	23.08	14.61	58.73
	15°C	30.68	17.04	12.95	7.67	20.75	12.34	59.79
	25°C	43.69	7.43	16.69	6.44	25.35	15.44	54.66
	35°C	46.64	8.43	15.32	5.42	24.63	14.76	55.38
	Average	38.07	13.33	14.35	7.42	23.45	14.18	57.14
S.D.	5°C	33.84	21.16	12.22	10.02	20.74	12.59	55.82
	15°C	33.57	19.49	15.12	9.26	22.87	12.78	56.30
	25°C	46.23	10.72	5.16	4.53	23.97	16.20	56.30
	35°C	53.67	10.68	15.06	5.72	24.47	14.94	58.87
	Average	41.83	15.51	11.89	7.38	23.01	14.13	56.92

Table 3. Coefficient of the best fitted equation for the isotherms of coffee powder stored at different temperatures

		F.D.	S.D.(G)	S.D.
5°C	r ^{a)}	0.9984	0.9882	0.9882
	n	1.5038	1.4306	1.3678
	a	0.0377	0.0367	0.0378
15°C	r	0.9985	0.9922	0.9906
	n	1.5662	1.4697	1.3926
	a	0.0344	0.0341	0.0363
25°C	r	0.9969	0.9942	0.9976
	n	1.3799	1.3065	1.2640
	a	0.0486	0.0501	0.0499
35°C	r	0.9958	0.9969	0.9973
	n	1.3004	1.3678	1.1912
	a	0.0470	0.0378	0.0474

a) r : correlation coefficient

Table 4. Regression parameter coefficients for the equilibrium moisture content prediction model by water activity and temperature

$M = a \exp(H^2) + b \ln(T) + c^a)$			
	Freeze dried	Granulated after S.D.	Spray dried
R ² b)	0.9507	0.9545	0.9721
a	35.9300	35.1963	32.9274
b	0.3834	0.6386	0.0301
c	-32.7438	-33.7571	-30.0500

a) M : equilibrium moisture content(d.b. %)

H : water activity(R.H./100)

T : temp.(°C)

b) R² : multiple correlation coefficient

Table 5. Regression parameter coefficients for the moisture content prediction model by water activity at different storage temperatures

		$\frac{1}{M^2} = a \ln(H) + b^a)$		
		F.D.	S.D.(G)	S.D.
5°C	r ^{b)}	0.9777	0.9278	0.9493
	a	-121.6845	-106.4302	-142.7695
	b	-12.6951	-18.8836	13.7127
15°C	r	0.9835	0.9527	0.9063
	a	-107.9456	-117.9525	-145.0504
	b	-14.5339	0.2406	-4.4678
25°C	r	0.9958	0.9787	0.9890
	a	-102.8336	-132.3433	-166.9024
	b	-12.5570	-13.6335	-25.3663
35°C	r	0.9968	0.9970	0.9901
	a	-145.4960	-178.1400	-276.2646
	b	-21.0955	-29.5761	-60.8555

a) M : moisture content(d.b.%)

H : water activity(R.H./100)

b) r : correlation coefficient

식 (2)를 이용하여 적합성 여부를 판정한 결과는 Table 2와 같다.

시료별 가장 적합도가 높은 모델은 모든 온도에서 공히 Halsey 모델이었는데 이는 Halsey 모델이 대부분의 식품에서 잘 적용된다는 Bouquet⁽³⁾ 등의 보고와 일치하는 결과를 보여준다.

Table 3은 가장 적합한 모델인 Halsey 모델에 대한 온도와 시료별 계수값과 상관계수 r로 이들 계수값을 Halsey 모델에 적용하여 주어진 온도에서 각 시료의

Table 6. Regression parameter coefficients for moisture content prediction model by water activity and time at different storage temperatures

M = a exp(H ²) + b ln(D) + c ^{a)}				
		F.D.	S.D.(G)	S.D.
5°C	R ² b)	0.8793	0.8461	0.8346
	a	0.2179	0.1996	0.2021
	b	0.0445	0.0482	0.0491
	c	-0.2205	-0.2230	-0.2355
	R ²	0.9255	0.9053	0.9052
15°C	a	0.2415	0.2279	0.2288
	b	0.0376	0.0434	0.0439
	c	-0.2330	-0.2430	-0.2499
	R ²	0.9275	0.9321	0.9357
				0.3470
25°C	a	0.3561	0.3493	0.3470
	b	0.0261	0.0287	0.0260
	c	-0.3532	-0.3603	-0.3591
	R ²	0.9581	0.9572	0.9621
				0.3495
35°C	a	0.3731	0.3561	0.3495
	b	0.0059	0.0080	0.0064
	c	-0.3545	-0.3445	-0.3434

a) M : moisture content (d.b.%)

H : water Activity (R.H./100)

D : days

b) R² : Multiple correlation coefficient**Table 7.** Regression parameter coefficients for the moisture content prediction model by water activity, time and temperature

M = a exp(H ²) + b ln(D) + c ln(T) + d ^{a)}				
	Freeze dried	Granulated after S.D.	Spray dried	
R ² b)	0.8793	0.8654	0.8683	
a	0.2921	0.2832	0.2825	
b	0.0283	0.0318	0.0313	
c	0.0236	0.0302	0.0287	
d	-0.3545	-0.3754	-0.3767	

a) M : moisture content (d.b.%)

H : water Activity (R.H./100)

D : days

T : temp(°C)

b) R² : multiple correlation coefficient

평형수분함량을 예측 가능하며 r값은 0.98~0.99로 높은 상관성을 보였다.

평형수분함량 예측모델

평형수분함량을 예측하기 위해 수분활성과 온도를 독립변수로 평형수분함량을 종속변수로 하여 다중 회귀분석을 실시하여 얻은 결과는 Table 4와 같으며 R-square값은 0.95 이상이었다.

이들 계수값을 수립된 모델에 적용하여 수분활성과 온도의 변화에 따른 각 시료의 평형수분함량을 예측할 수 있다.

흡착량 예측모델

본 시료의 흡착에 가장 크게 영향을 미치는 변수를 수분활성으로 추정하고 수분활성만을 변수로 하여 수립된 모델과 계수값은 Table 5와 같고 r값은 0.97 이상의 상관성을 보였으며 Table 6은 수분활성과 시간을 변수로 하여 수립된 예측모델과 계수값으로서 R-square값은 5°C에서는 0.85 근처로 다소 낮았으나 그 외의 온도에서는 0.92~0.96 사이였다.

본 실험에서의 모든 변수 즉 수분활성, 시간, 온도를 변수로 하여 수립된 최종적인 모델과 계수값은 Table 7과 같고 R-square값은 0.87~0.88 사이였다.

요 약

커피의 저장 중 흡착에 가장 많은 영향을 미치는 인자로는 수분활성 및 온도이다. 따라서 커피의 제조과정 중 추출시 건조방법의 차이에 따른 세 종류의 제품에 대한 흡착 특성을 조사하고 수분활성, 온도 및 시간의 변화에 따른 흡착량을 측정하여 조건변수의 변화에 따른 흡착량의 변화를 예측할 수 있는 예측모델식을 수립하였다. 흡착거동은 전형적인 Sigmoid 형태를 나타냈으며 평형수분함량과 단분자층 수분함량은 동결 건조제품이 가장 높게 나타났으며 이는 건조방법에 의해 생성된 다공성구조에 기인된 것으로 사료된다. 기 발표된 여러 형태의 등온흡착곡선 모델식에 적용시켜 본 결과 Halsey 모델식의 상관계수 r값이 0.98~0.99로 가장 적합하였다. 또한 예측모델식은 SPSS COMPUTER PROGRAM을 이용하여 가장 오차가 적은 범위에서 수분활성, 온도 및 시간의 변화에 따른 흡착량의 변화를 예측할 수 있는 최종적인 모델식을 수립하였다.

문 헌

1. 이영춘 : 기호식품. 식품과학, 21(2), 54(1988)
2. 김동훈 : 식품화학. 탐구당, p. 21 (1975)
3. Bonquet, R., Chrife, J. and Igleasis, H.A. : Equations for fitting water sorption isotherms of foods : I.A. review. *J. Food Technol.*, 13, 159(1978)
4. Bonquet, R., Chrife, J. and Igleasis, H.A. : Equations for fitting water sorption isotherms of foods ; II. Evaluation of various two-parameter model. *J. Food Technol.*, 13, 319(1978)
5. 김동만, 장규섭, 윤한교 : 분말두부의 수분흡착특성. 한

- 국식품과학회지, 12(4), 292(1980)
6. 황응수, 이철원, 유주현, 이신영 : 동결건조분말 된장의 흡습거동에 대한 속도론적 연구. 한국식품과학회지, 19(3), 231(1987)
 7. 고하영, 박형우, 강통삼, 권용주 : 플라스틱 필름 포장 김의 품질변화 simulation과 shelf-life 예측. 한국식품과학회지, 19(6), 463(1987)
 8. 김재식, 박관화 : 탈지대두분해물의 흡습특성. 한국식품과학회지, 18(3), 234(1986)
 9. 김현구, 박무현, 민병용, 서기봉 : 저장상대습도 및 온도에 따른 분말고추의 흡습특성. 한국식품과학회지, 16(1), 108(1984)
 10. Young, J.F. : Humidity control in the laboratory using salt solutions. *J. Appl. Chem.*, 17, 241(1967)
 11. Rockland, L.B. : Saturated salt solutions for static control of relative humidity between 5°C and 40°C. *Anal. Chem.*, 32(1), 1375(1960)
 12. Rockland, L.B. and Beuchat, L.R. : *Water activity ; Theory and applications to food*. Marcel Dekker, New York, p.215 (1987)
 13. Karel, M., Fennema, O.R. and Lund, D.B. : *Physical principles of food preservation*. Marcel Dekker, New York, p.237 (1975)
 14. Mazza, G. : Sorption isotherms and drying rates of jerusalem artichoke. *J. Food Sci.*, 49, 384(1984)
-
- (1990년 7월 9일 접수)