KOREAN J. FOOD SCI. TECHNOL.
Vol. 28, No. 6, pp. 1146~1150(1996)

모형 식품 분말의 흡습 특성

김동우 · 장규섭* · 김석신**
중경공업전문대학 식품공업과, *충남대학교 식품공학과
**가톨릭대학교 식품영양학과

Moisture Sorption Characteristics of Model Food Powders

Dong Woo Kim, Kyu Seob Chang*, Un Hyun Lee* and Suk Shin Kim**
Department of Food Technology, Joong-kyoung Technical Junior College
**Department of Food Science and Technology, Chungnam National University*
***Department of Food Science and Nutrition, The Catholic University of Korea*

Abstract

The purpose of this research was to provide fundamental data required for the process design of conveying, storage and processing of food powders. Potato starch, corn starch, wheat protein, soybean protein, and model food powders prepared by mixing potato starch and wheat protein were selected and their sorption characteristics such as equilibrium moisture content, monolayer moisture content, and sorption enthalpy were determined. Equilibrium moisture content and monolayer moisture content of high starch powders were higher than those of high protein powders, and the equilibrium moisture content decreased with temperature. The determination coefficients of the regression equations to predict the equilibrium moisture content of food powders were from 0.997 to 0.999. Sorption enthalpy experiments indicated that powder of high moisture content showed lower sorption than that of low moisture content, and the high protein powder showed lower sorption than high starch powder.

Key words: moisture sorption, model food powders

서 론

식품 분말은 용도에 따라 밀 단백이나 옥수수 전분 같은 분말 가루, 분말 주스, 유아식, 수우프, 양념류, 감미료 등으로 분류되고, 형태에 따라 결정형과 무정형으로, 화학 성분에 따라 전분질성, 단백질성 및 지방질성으로, 흡습특성에 따라 강흡습성, 중흡습성 및 약흡습성으로 분류된다[1,2].

식품 분말의 흡습특성은 분말 입자의 크기, 형태, 화학 성분 등과 밀접한 관련이 있는데[1,2] 그 흡습특성에 관한 연구로서 상대습도 변화에 따른 평형수분함량의 측정[3,4]이나 예측[5,6], 흡습 속도[7,8], 등온흡습곡선[8,9] 등에 대해서는 비교적 많은 보고가 있으나, 흡습 동력학 측면에서 흡습 에너지 변화, 이를테면 흡습 엔탈피에 관한 보고는 아주 미비한 편이다[10,11].

Corresponding author: Suk Shin Kim, Department of Food Science and Nutrition, The Catholic University of Korea, Buchon, Kyonggi-do 422-743, Korea

이에따라 본 연구에서는 식품 분말의 흡습특성 연구의 일환으로 성분 조성을 달리한 식품 분말의 흡습 에너지 및 평형수분함량의 예측 모델을 구하고자 밀 단백, 대두 단백, 감자 전분, 옥수수 전분 및 밀 단백과 감자 전분을 일정 비율로 혼합한 모형 식품 분말을 대상으로 흡습 특성 실험을 수행하였기에 그 결과를 보고하고자 한다.

재료 및 방법

시 료

감자 전분과 옥수수 전분은 시판품을, 밀 단백은 S회사 제품을 구입하여 사용하였고, 대두 단백은 S회사에서 구입한 탈지 대두박을 대두 단백으로 분리하여 사용하였다.

성분 조성을 달리한 식품 분말의 흡습 특성을 구명하기 위하여 감자 전분과 밀 단백을 Table 1과 같은 성분 비율로 혼합하여 모형분말 시료로 사용하였다.

평형수분함량의 측정

알루미늄 용기(직경 4 cm, 높이 3 cm)에 시료를 5 g씩 담아 상대습도 11~91%를 유지하는 포화 염용액이 들어있는 데시케이터에 넣은 후 10°C, 20°C, 30°C의 항온기 내에 저장하였다. 저장 중 24시간 간격으로 시료를 꺼내어 적외선 수분 측정기(F-1A, Kett형)로 수분 함량을 측정하였으며, 실험은 전회와의 중량차가 0.5 mg 이하가 될 때까지 계속하였다[3].

단분자층 수분함량의 측정

단분자층 수분함량을 측정하기 위하여 다음과 같이 Brunauer-Emmett-Teller (BET)식을 이용하였다[3].

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

여기서, Aw : 수분 활성도
m : 평형수분함량(g H_2O/g solids)
m_1 : 단분자층 수분함량(g H_2O/g solids)
C : 상수

흡습엔탈피의 측정

평형수분함량에 도달하는데 필요한 흡습엔탈피는 Clausius-Clapeyron의 변형식을 사용하여 구하였다[11].

$$\ln P = \frac{\triangle H_s}{RT} \quad (2)$$

여기서, ln P : 주어진 온도(T)에서 평형 상태의 수증기 분압에 대한 자연대수
$\triangle H_s$: 흡습엔탈피(kcal/mol)
R : 기체상수(1.99 cal/mol · K)
T : 절대온도(K)

회귀식(regression equation)의 도출

상대습도 즉, 수분활성도에 따른 평형수분함량을 예측하기 위한 회귀식은 SPSS-X 통계 package를 이용하여 구하였다.

Table 1. Formulae of model food powders

Formulae	Mix ratio (w/w%)	
	Wheat protein	Potato starch
S_7P_3	30	70
S_5P_5	50	50
S_3P_7	70	30

결과 및 고찰

상대습도에 따른 평형수분함량

시료를 포화 염용액이 들어 있는 데시케이터에 넣은 다음 10°C, 20°C, 30°C의 조건에서 평형수분함량을 측정한 결과는 Table 2, 3, 4와 같다.

상대습도의 변화 즉, 수분활성도에 따른 평형수분함량은 Table 2에서 보는 바와 같이 대기 온도 10°C에서 수분활성도 0.1~0.5까지는 크게 증가되지 않는 경향을 보였으나 수분활성도 0.5 이상부터는 급격히 증가하여 수분활성도 0.839에서의 평형수분함량은 감자

Table 2. Equilibriun moisture contents of food powders at 10°C

Saturated salt solution	Aw	Equilibrium moisture content (%, DB)						
		PS	CS	WP	SP	S_7P_3	S_5P_5	S_3P_7
LiCl	0.105	6.5	6.3	4.1	5.8	5.7	5.2	4.7
$K_2C_2H_3O_2$	0.219	7.7	7.4	5.0	6.9	6.8	6.1	5.6
$MgCl_2$	0.314	9.0	8.7	6.2	8.1	8.0	7.3	6.8
K_2CO_3	0.425	10.7	10.4	7.4	9.7	9.8	8.9	8.5
$Mg(NO_3)_2$	0.516	12.8	12.5	9.3	11.6	11.9	10.8	10.1
$NaNO_3$	0.637	15.3	14.9	11.7	14.0	14.3	13.1	12.7
NaCl	0.746	18.2	17.8	14.2	16.9	17.1	16.0	15.5
KCl	0.839	21.8	21.4	17.9	20.6	20.8	19.5	19.1

Table 3. Equilibriun moisture contents of food powders at 20°C

Saturated salt solution	Aw	Equilibrium moisture content (%, DB)						
		PS	CS	WP	SP	S_7P_3	S_5P_5	S_3P_7
LiCl	0.127	6.2	6.0	3.8	5.5	5.4	4.8	4.4
$K_2C_2H_3O_2$	0.234	7.1	6.9	4.6	6.3	6.3	5.7	5.2
$MgCl_2$	0.328	8.3	8.0	5.6	7.5	7.4	6.8	6.3
K_2CO_3	0.441	9.8	8.6	7.0	9.1	9.0	8.3	7.7
$Mg(NO_3)_2$	0.532	11.5	11.2	8.4	10.7	10.6	9.8	9.2
$NaNO_3$	0.653	14.0	13.6	10.7	13.1	13.1	12.1	11.6
NaCl	0.762	17.1	16.5	13.6	16.0	16.2	15.2	14.6
KCl	0.845	21.2	20.5	17.4	19.7	20.1	19.1	18.4

Table 4. Equilibriun moisture contents of food powders at 30°C

Saturated salt solution	Aw	Equilibrium moisture content (%, DB)						
		PS	CS	WP	SP	S_7P_3	S_5P_5	S_3P^7
LiCl	0.145	6.0	5.8	3.6	5.2	5.2	4.6	4.2
$K_2C_2H_3O_2$	0.251	6.7	6.5	4.2	6.0	5.8	5.3	4.8
$MgCl_2$	0.343	7.6	7.4	5.1	7.0	6.7	6.4	5.7
K_2CO_3	0.456	8.7	8.5	6.1	8.1	7.8	7.5	6.8
$Mg(NO_3)_2$	0.547	10.3	10.0	7.4	9.6	9.2	8.7	8.2
$NaNO_3$	0.668	12.9	12.5	9.7	12.1	11.6	11.2	10.5
NaCl	0.779	16.1	15.6	12.8	15.2	14.7	14.2	13.6
KCl	0.860	20.5	19.9	16.7	19.3	19.0	18.3	17.6

전분이 21.8%, 옥수수 전분 21.4%, 대두 단백 20.6%, 밀 단백 17.9% 등으로 상당히 높은 값을 보였다.

식품 분말의 종류별로 보면, Table 2, 3, 4에서와 같이 모든 조건하에서 감자 전분과 옥수수 전분같은 전분질성 분말이 밀 단백과 대두 단백같은 단백질성 분말에 비하여 대부분의 상대습도 조건에서 평형수분함량이 높게 나타나 흡습성이 크다는 것을 알 수 있었다. 성분 조성 비율이 다른 모형 분말에서도 전분 함량이 많은 분말일수록 단백질 함량이 많은 분말에 비하여 평형수분함량의 수치가 높게 나타나 흡습성이 강한 것으로 나타났는데, 이는 전분 입자가 단백질 입자보다 대기 중의 수분을 흡착하는 친수성이 크기 때문인 것으로 생각된다. 그리고 대두 단백이 밀 단백보다 더 높은 흡습성을 보인 것은 탈지 대두박에서 대두 단백을 분리할 때 동결건조시켜 입자 구조가 다공성이기 때문인 것으로 생각된다. 온도의 관점에서는 모든 식품 분말이 대기 중의 온도가 낮을수록 흡습성이 강하여 더 높은 평형수분함량을 나타냈다. 온도가 낮을수록 대기 중의 수분응축이 온도가 높을 때보다 용이하기 때문에 평형수분함량이 더 높게 나타난 것으로 생각된다.

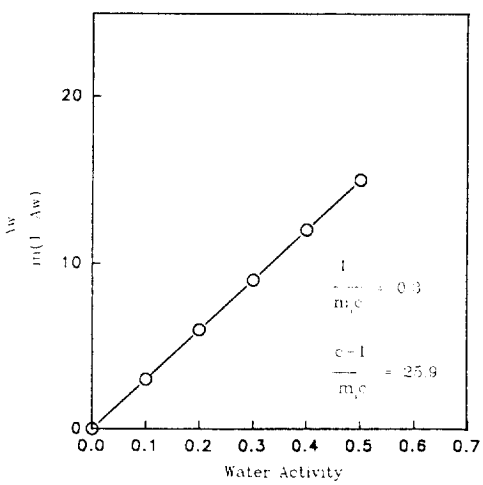

Fig. 1. BET plot for determination of the monolayer value of wheat protein at 20°C

Table 5. Monolayer moisture contents of food powders at different temperatures

Temperature (°C)	Moisture content (%, DB)						
	PS	CS	WP	SP	S_7P_3	S_5P_5	S_3P_7
10	7.57	7.35	4.43	6.95	7.24	6.52	5.76
20	7.16	6.91	3.87	6.52	6.83	5.85	5.07
30	6.93	6.74	3.59	6.28	6.31	5.27	4.35

단분자층 수분함량

상대습도별 평형수분함량 데이타를 식(1)을 이용하여 Fig. 1과 같이 작도한 후, 이로부터 단분자층 수분함량을 계산한 결과는 Table 5와 같다.

일반적으로 건조 식품이 단분자층 수분함량을 보일 때가 저장에 적정한 수분함량이라고한다[11]. 본 실험에서 사용한 시료의 단분자층 수분함량은 Table 5에서 보는 바와 같이 온도 10℃에서 감자 전분이 7.5%로서 옥수수 전분 7.35%, 대두 단백 6.95%, 밀 단백 4.43%에 비하여 높은 수분 함량을 보였고, 모형 분말에서도 전분 함량이 많은 분말이 단백질 함량이 많은 분말에 비하여 단분자층 수분 함량이 비교적 높은 값을 나타냈다. 이와 같은 수치로 볼 때 단분자층 수분함량이 높은 전분질 분말은 낮은 수분활성도에서 단분자층을 이루고 있는 결합수 일부가 빠져 나와 가용성 성분 중 극히 일부를 용해시킬 수 있으나 품질상 문제점은 크지 않을 것으로 생각되며, 이보다는 오히려 높은 수분활성도에서 식품 분말을 저장하였을 때 단분자층 수분함량이 낮은 단백질 분말일수록 대기 중의 수분을

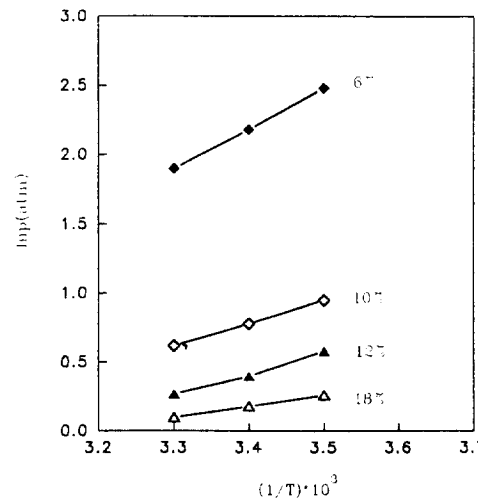

Fig. 2. Determination of enthalpy of sorption of potato starch with different moisture contents

Table 6. Enthalpy of sorption of food powders as a function of moisture content

Moisture content (%, DB)	Enthalpy of sorption (kcal/mol)						
	PS	CS	WP	SP	S_7P_3	S_5P_5	S_3P_7
6	-5.73	-5.36	-4.04	-5.07	-5.17	-4.75	-4.41
10	-3.53	-3.16	-2.42	-2.90	-2.98	-2.75	-2.58
14	-2.29	-2.06	-1.57	-1.92	-1.97	-1.82	-1.73
18	-1.38	-1.31	-1.02	-1.26	-1.27	-1.19	-1.12

흡수하여 가용성 성분이 많이 생겨 응집되어 굳어지는 현상을 보였다. 이러한 결과는 Peleg[12]의 보고에서 단백질이나 지방질이 많은 분말일수록 습도가 높은 대기 중에 노출되면 가용성 성분이 용해되었다가 건조해지면서 굳어지는 경향이 있다는 연구결과와 일치하였다. 따라서 단백질이나 지방질이 많은 분말은 방습 포장하여 저장하여야 할 것으로 생각된다.

흡습 엔탈피

온도 및 상대습도별 식품 분말의 평형수분함량 변화를 식 (2)를 이용하여 Fig. 2와 같이 작도하여 그림의 기울기 값에서 흡습 엔탈피를 계산한 결과는 Table 6과 같다.

Table 6에서 보는바와 같이 모든 시료에서 식품 분말의 수분 함량이 높을수록 대기 중의 수분을 흡습하여 평형수분함량에 도달하는데 필요한 흡습 엔탈피가 급격히 증가되는 경향을 보였는데, 감자 전분의 예를 들면 수분 함량 6%에서 평형수분함량에 도달하는 흡습 엔탈피 값이 -5.73 kcal/mol인데, 비하여 수분 함량 18%일때는 -1.38 kcal/mol로 4배 이상의 높은 값을 나타냈다. 식품 분말의 종류에 따라서는 수분함량 6%에서 밀 단백이 -4.04 kcal/mol로서 감자전분 -5.73 kcal/mol, 옥수수 전분 -5.36 kcal/mol, 대두 단백 -5.07 kcal/mol 등보다 높은 수치를 보였으며, 그외의 다른 수분함량 조건에서도 비슷한 경향을 나타냈다.

이러한 결과로 볼 때 밀 단백은 일정한 조건에서 감자 전분 및 옥수수 전분보다 대기 중의 수분을 흡습하는데 높은 에너지를 필요로 하기 때문에 감자 전분이나 옥수수 전분에 비하여 흡습능력이 떨어진다고 생각된다. 성분 조성에서도 단백질 함량이 많은 분말일수록 전분 함량이 많은 분말보다 흡습 엔탈피 값이 높아 흡습능력이 다소 떨어진다고 할 수 있다.

Table 7. Regression coefficients for the prediction of equilibrium moisture content with water activity at 10°C

Food powders	Regression coefficients[1)]				
	a	b	c	d	R^2
PS	-0.9086	13.3128	10.9082	5.2942	0.999
CS	-0.1398	12.8454	10.2899	5.1334	0.998
WP	-6.2103	17.9831	10.0843	3.0273	0.999
SP	-7.2986	18.6705	11.9664	4.5363	0.998
S_7P_3	-10.9863	21.0807	13.9818	4.0469	0.997
S_5P_5	-12.0873	22.3860	12.9415	3.6793	0.998
S_3P_7	-14.3130	24.2836	13.6587	3.1204	0.998

[1)]a, b, c and d constants for the equationy $y=ax^3+bx2+cx+d$ where, x=water activity, y=equilibrium moisture content

Table 8. Regression coefficients for the prediction of equilibrium moisture content with water activity at

Food powders	Regression coefficients[1)]				
	a	b	c	d	R^2
PS	-27.2173	35.0984	17.8174	4.1853	0.998
CS	-25.8367	33.1593	17.3765	4.0192	0.997
WP	-28.0740	34.9577	16.8414	1.9342	0.998
SP	-17.8613	26.8739	14.5252	3.7629	0.998
S_7P_3	-24.6718	33.5207	16.4436	3.6141	0.998
S_5P_5	-32.3433	38.6235	19.0827	2.7844	0.998
S_3P_7	-26.6667	37.7838	16.3700	2.6477	0.998

[1)]Refer to the notes of Table 8

Table 9. Regression coefficients for the prediction of equilibrium moisture content with water activity at

Food powders	Regression coefficients[1)]				
	a	b	c	d	R^2
PS	-35.6986	43.0047	17.8937	3.9354	0.998
CS	-37.5546	43.4817	18.7869	3.6359	0.998
WP	-36 9517	42.1577	18.0443	1.5337	0.998
SP	-37.2927	42.2414	19.6623	2.9172	0.998
$S_7^P{}_3$	-37.0433	45.3637	17.3248	3.4576	0.998
$S_5^P{}_5$	-40.5416	46.2645	19.8614	2.5981	0.998
$S_3^P{}_5$	-32.7932	41.4282	15.9614	2.5779	0.998

[1)]Refer to the notes of Table 8

평형수분함량의 예측

각 온도에서 수분활성도만을 측정하여 식품 분말의 평형수분함량을 추정할 수 있는 방법을 제시하기 위하여 Table 2, 3, 4의 데이터에 대해 수분활성도를 독립변수로 하고 평형수분함량을 종속변수로하여 SPSS-X통계 package를 활용, 3차식으로 회귀 분석을

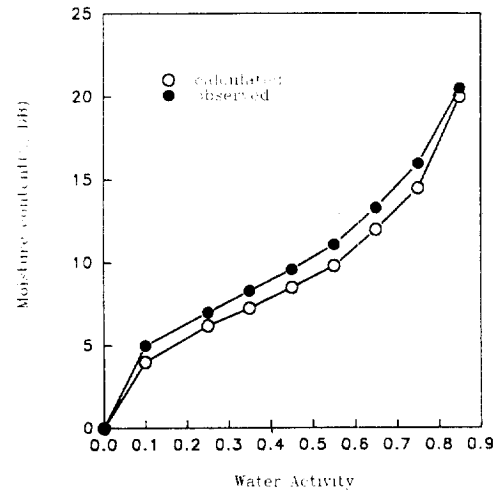

Fig. 3. Comparison of observed and calculated sorption isotherms of potato starch at 20°C

실시한 결과 Table 7, 8, 9를 얻었다.

Table 7, 8, 9에서와 같이 시료의 종류에 관계없이 10°C, 20°C, 30°C 온도 조건에서 모두 결정계수가 0.997 이상의 높은 값을 보였으며, 감자 전분에서 수분활성도에 따른 평형수분함량의 측정값과 통계 package에 의한 예측값을 비교하여 본 결과 Fig. 3에서 보는 바와 같이 거의 일치하였다.

이상의 결과는 식품 분말의 가공, 저장, 수송 등에 이용되는 공정 장치의 설계나 공정의 자동제어에 필요한 데이터로 응용될 수 있다.

요 약

식품 분말을 가공, 저장, 수송하는데 필요한 공정 장치 설계의 기초 자료를 제공하고자, 감자 전분, 옥수수 전분, 밀 단백 및 대두 단백 분말과, 감자 전분과 밀 단백을 일정 비율로 혼합한 모형 식품 분말을 시료로 하여, 평형수분함량의 측정 및 예측, 단분자층 수분함량, 흡습 엔탈피등의 흡습 특성을 조사하였다. 식품 분말의 평형수분함량과 단분자층 수분함량은 전분 함량이 많은 분말이 단백질 함량이 많은 분말에 비하여 높았고, 온도가 증가할수록 낮아지는 경향을 보였다. 식품 분말의 평형수분함량을 예측하기 위한 회귀식의 결정계수는 0.997~0.999로서 상당히 높은 것으로 나타났다. 흡습 에너지의 경우 분말의 수분함량이 높아짐에 따라 흡습 엔탈피가 증가함으로써 흡습 능력이 떨어지는 경향을 보였고 온도가 증가할수록 흡습 에너지가 약간 증가하였다. 그리고 단백질 함량이 많은 분말이 전분 함량이 많은 분말에 비하여 흡습 에너지가 증가되어 흡습능력이 떨어졌다.

문 헌

1. Peleg, M.: Physical characteristics of food powders. In *Physical Properties of Foods*, Peleg, M. and Bagley, E. B. (Ed.), AVI Pub. Co., Inc., Westport, CT, p.293-323 (1983)
2. 青山固 : 食品工業の固體粉體處理. pp.3-15 (1990)
3. Labuza, T.P, Kaanane, A. and Chen, J.Y.: Effect of temperature on the moisture sorption of foods. *J. Food Sci.*, **50**, 385 (1985)
4. Chau, K.V., Heinis, J.J. and Perez, M.: Sorption isotherms and drying rates for mullet fillet and roe. *J. Food Sci.*, **47**, 1318 (1982)
5. Scott, V.N. and Bernard, D.T.: Influence of temperature on the measurement of water activity of food and salt system. *J. Food Sci.*, **48**, 552 (1983)
6. Iglesias, H.A., Chirife, J. and Fontan, C.F.: Temperature dependence of water sorption isotherms of some foods. *J. Food Sci.*, **51**, 551 (1986)
7. Mannheim, C.H. and Passy, N.: Flow properties and water sorption of food powders. *Haifa 32000 Israel*, 216 (1981)
8. Cohen, E. and Saguy, I.: Effect of water activity and moisture content on the stability of beet powder pigments. *J. Food Sci.*, **48**, 703 (1983)
9. Boki, K., Ohno, S. and Shinoda, S.: Moisture sorption characteristics of kudzu starch and sweet potato starch. *J. Food Sci.*, **55**, 232 (1990)
10. Pilosof, A.M.R., Boquet, R. and Bartholomai, G.B.: Kinetics of water uptake by food powders. *J. Food Sci.*, **50**, 278 (1985)
11. Apostolopoulos, D. and Gilbert, S.G.: Water sorption of coffee solubles by frontal inverse gas chromatography: thermodynamic considerations. *J. Food Sci.*, **55**, 475 (1990)
12. Peleg, M. and Hollenbach, A.M.: Flow conditioners and anticaking agents. *Food Technol.*, **38**, 93 (1984)

(1996년 8월 30일 접수)