

오징어간유 미세캡슐화 분말의 흡습특성

황성희, 윤광섭*

대구가톨릭대학교 외식식품산업학부

Sorption Characteristics of Microencapsulated Squid Liver Oil Powder by Spray Drying

Sung-Hee Hwang, Kwang-Sup Youn*

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

Abstract

This study was carried out to estimate the sorption characteristics of microencapsulated squid liver oil powder. Squid oil is an abundant source of polyunsaturated fatty acids, especially EPA and DHA. The polyunsaturated fatty acids was oxidized easily during storage and processing. Microencapsulated squid liver oil was achieved by the spray drying method. The equilibrium moisture content had higher values at lower storage temperatures, and higher water activity. The monolayer moisture content showed a higher significance by the GAB equation than BET equation. The estimated monolayer moisture content was shown to be 0.085~0.157 g H₂O/g dry solid. The isosteric heat of sorption varied between 1279.53 to 60.24 cal/mol on the water activity levels. The fitness of the isotherm curve was shown to be in the order of Khun, Halsey, Caurie and Oswin model. The equilibrium relative humidity prediction model was established by the function of water activity, time and temperature, respectively.

Key words: sorption, squid oil, microencapsulation, spray drying

서론

오징어 내장에는 일반어류에 비해 지방, 비타민 B군, 무기질 함량이 높고, 특히 간에는 유지함량이 30~40%로 높게 함유되어 있으며, 간유 중에는 ω -3계 지방산인 EPA, DHA의 함량이 40% 이상으로 저가 다핵성 어류인 정어리의 25%에 비하여 높기 때문에(須山, 1983) 고부가가치 기능성 식품소재로서의 활용 가능성이 제기되고 있다. 최근 EPA, DHA와 같은 불포화지방산이 풍부하게 함유된 어유를 캡슐로 제조하거나 분말화하여 건강기능식품, 수산식품, 제과, 제빵, 탄산음료, 가공치즈, 조제분유 등에 첨가하여 상품화되고 있다. 그러나 어유의 지방산은 탄소수가 많고, 불포화도가 높기 때문에 쉽게 산화되어 고분자의 산화물을 생성하여 품질저하를 초래하므로 직접적인 식품첨가가 제한되고 있다(Pinche et al., 1988; Shukla & Perkins, 1991). 이러한 문제점을 개선하기 위하여 수십 μ m의 직경을 갖는 microcapsule을 제조하는 방법인 미세캡슐화(microencapsulation)

가 시도되고 있으며, 미세캡슐 제조방법으로 spray drying process, coating process, extrusion 등 10여 가지가 보고되고 있으나, 현재 상업화되어 이용되고 있는 여러 방법들 중에 분무건조법이 가장 일반적이고, 경제적인 방법으로 알려지고 있다(Risch, 1993).

일반적으로 건조식품의 경우에는 아무리 건조가 잘 되었다 하더라도 저장온도 및 저장상대습도, 포장재의 방습조건 등이 적합하지 않으면 흡습에 의해서 저장기간 중 품질변화가 발생한다. 즉 건조식품의 저장성은 수분활성도, 제품의 종류, 저장 온도 등 다양한 요인들에 영향을 받으며 특히 수분활성도에 따라 비효소적 갈색화 반응, 지방의 산패, 미생물의 발생 정도가 달라진다. 따라서 건조식품 저장시 변질을 방지하기 위해서는 식품 종류에 따른 흡습특성을 이해할 수 있는 등온흡습곡선을 작성하는 것이 중요하며, 저장한계 수분함량인 단분자층 수분함량을 결정하고, 흡습에 필요한 에너지를 구함으로서 건조식품의 저장조건 및 포장조건의 선택시 유용한 기초 자료가 된다(Diosady et al., 1996; Song & Park, 1995).

따라서 본 연구에서는 미세캡슐화된 오징어 간유 분말의 흡습특성과 수분활성도 예측을 위한 모델식을 수립함으로써 오징어 간유 분말의 활용성을 증대시키고자 하였다.

Corresponding author: Kwang-Sup Youn, Department of Food Science and Technology, Catholic University of Daegu, 330, Geumnakri, Gyeongsan, Gyeongbuk 712-702, Korea
Tel: 053-850-3209; Fax: 053-850-3209
E-mail: ksyoun@cu.ac.kr

재료 및 방법

재 료

오징어 조유는 (주)현대특수사료에서 제공받아 탈산, 탈검, 탈색, 탈취과정에 따라 정제하여 냉장고(4°C)에 보관하면서 사용하였다. 유화제는 F-160(sucrose monostearate: sucrose di-, tri-, and tetrastearate=7:3, Ilshin Emulsifier Co., Ltd., Korea)을 사용하였으며, 이 때 HLB값은 16이었다. 피복물질로는 Na-caseinate(MSC Co., Ltd., Korea), β -cyclodextrin(MSC Co., Ltd., Korea)을 사용하였다.

오징어 간유의 미세캡슐화

피복물질로 사용한 Na-caseinate와 β -cyclodextrin의 비율을 4:6(w/w)으로 혼합하여 용해한 후 유화제 F-160을 첨가하여 homogenizer(T25 Basic, IKA, Germany)로 22,000 rpm에서 20분간 균질화시킨 후 오징어 간유를 가하여 유화액을 제조하였다. 이때 피복물질과 오징어 간유와의 비율은 4:6(w/w)으로 하였다. 제조된 유화액을 분무건조기(B-191, Buchi, Switzerland)를 이용하여 미세캡슐화하였으며, 기기 운용조건은 inlet temperature를 130-160°C, outlet temperature를 80-90°C로 설정하였고, 시료 공급속도는 6 mL/min으로 하였다.

평형수분함량의 측정

미세캡슐화 분말의 평형수분함량은 수분활성도 측정기(Thermoconstanter, TH200, Novasina, Swiss)로 측정하였다. 미세캡슐화 분말 0.2 g을 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 주어진 수분활성도에 평형이 될 때까지 흡습시켜 평형수분함량을 구하였다.

단분자층 수분함량의 측정

단분자층 수분함량은 Brunauer-Emmett-Tellertlr(BET)식(Brunauer et al., 1938)과 Guggenheim-Anderson-Boer(GAB)식(Samaniego-Esguerra et al., 1991)을 이용하여 회귀식을 통해 얻어진 각 방정식의 계수로부터 산출하였다.

$$\text{BET equation } \frac{A_w}{m(1-A_w)} = \frac{1}{m_1 C} + \frac{C-1}{m_1 C} A_w$$

$$\text{GAB equation } m = \frac{m_1 C k A_w}{(1 - k A_w)(1 - k A_w + C k A_w)}$$

A_w : Water activity

m : Equilibrium moisture content(d.b.)

m_1 : Monolayer moisture content(d.b.)

C, k : Constants

흡습엔탈피의 결정

평형수분함량에 도달하는데 필요한 흡습엔탈피 ΔH_s 는 Clausius-Clapeyron의 변형식(Apostolopoulos & Gilbert, 1990)을 이용하여 구하였다.

$$-\ln P = \frac{\Delta H_s}{RT}$$

$\ln P$: Vapor pressure at temperature T

ΔH_s : Enthalpy (kcal/mol)

R : Gas constant (1.987 cal/mol.K)

T : Absolute temperature(K)

등온흡습곡선 모델식의 적합성

등온흡습곡선 모델과의 적합도를 알아보기 위하여 아래 식(Boquet et al., 1978)을 대상으로 적합성을 알아보았다. 즉, 각 방정식의 회귀식을 도출한 후 각 모델식의 회귀계수를 계산하였다.

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

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

$$\text{Caurie equation } \ln M = \ln A - r A_w$$

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

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

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

M : Equilibrium moisture content(w.b. %)

A_w : Water activity

$k_2, k_1, a, b, A, r, n, K$: Constants

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

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

M_i : Experimented moisture content(w.b. %)

M_i^* : Estimated moisture content(w.b. %)

n : Number of experiments

평형상대습도 예측모델

미세캡슐화한 오징어 간유 분말의 흡습중 평형상대습도를 예측하기 위해 평형상대습도를 종속변수로 하고 온도와 시간, 수분활성도를 독립변수로 하여 각 상호관계에서 최적 함수를 선정하여 예측모델을 수립하였다.

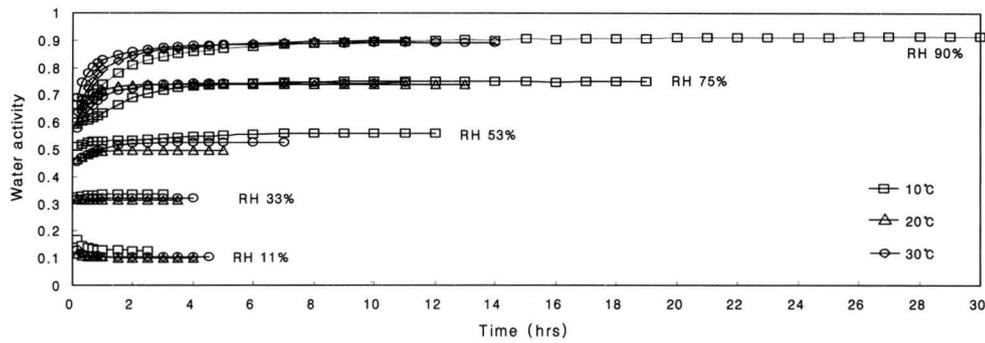


Fig. 1. Effect of various humidities on water activity of microencapsulated squid liver oil powder.

결과 및 고찰

온도와 수분활성도에 따른 평형수분함량

건조식품의 안정성은 저장온도, 건조식품의 수분활성도 및 수분함량에 큰 영향을 받는다(Labuza et al., 1972). 저장 중 흡습특성을 알기 위해서는 여러 조건의 온도와 수분활성도에서의 평형수분함량을 구하는 것이 필요하다. 따라서 미세캡슐화 최적 조건으로 제조한 미세캡슐화 오징어 간유 분말의 흡습특성을 알아보려고 하였다. 저장온도를 10, 20, 30°C로 하고 수분활성도를 0.11, 0.33, 0.53, 0.75 및 0.90으로 조절한 chamber 내에서 평형에 도달하기까지의 수분함량의 변화를 Fig. 1에 나타내었다. 평형에 도달하는 시간은 수분활성도에 따라 차이가 있는데, 높은 수분활성도(0.75, 0.90)에서는 평형에 도달하는 시간이 길어지고 0.11, 0.33, 0.53의 수분활성도에서는 비교적 단시간 내에 평형에 도달하였다. 온도가 높아짐에 따라 평형에 도달하는 시간이 더 단축되었으며 낮은 온도보다는 높은 온도에서 초기 흡습이 빠른 것으로 나타났다. 특히, 30°C, 0.75 이상의 수분활성도에서 미세캡슐화 오징어 간유 분말이 높은 수분활성도를 보여 평형에 가장 빨리 도달하였다.

각 수분활성도에 따른 평형수분함량의 변화를 나타내는 등온흡습곡선은 Fig. 2에 나타내었다. 등온흡습곡선의 모형이 Type III에 가까운 모형으로 이것은 수용성결정을 가진 식품의 경우에 나타나는 양상으로(Rahman, 1999) 높은 수분활성도에 평형수분함량이 빠르게 증가하는 형태로 corn starch 등과 같은 분말식품(Peng et al., 2007; Al-Mutaseb et al., 2004)에서 보고된 결과와 유사하였다. 저장온도 10°C와 20°C에서의 등온흡습곡선은 모든 수분활성도 구간에서 유사한 경향을 보였으며 30°C의 높은 온도에서는 낮은 평형수분함량을 나타내었는데 이는 평형에 도달하는 시간이 고온에서는 단축되므로 평형수분함량이 또한 낮아지는 것으로 판단된다. 반면 낮은 온도에서의 평형수분함량이 높은 것으로 나타났는데 이는 온도가 낮을수록 대기 중의 수분 응축이 온도가 높을 때보다 용이하기 때문에 평형수분함량이 높게 나타난 것으로 판단되며, 이는 Kim et al.(1988)의

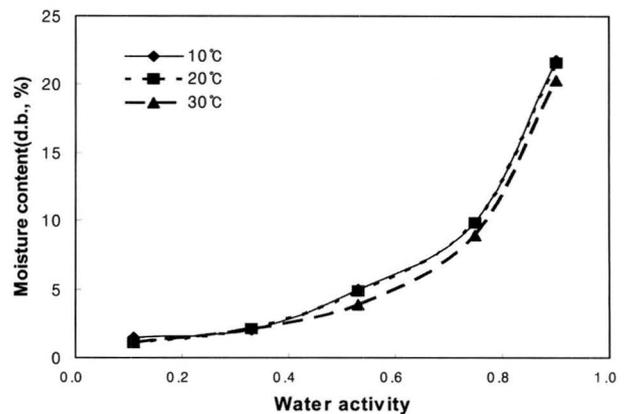


Fig. 2. Isothermal absorption curves of microencapsulated squid liver oil powder.

연구 결과와 유사하게 나타났다. Ko(1998)는 건조방법에 따른 표고버섯 분말의 흡습특성 연구에서 수분활성도가 증가함에 따라 표고버섯 분말의 수분함량은 5~35%(d.b.)라고 하였는데, 본 실험에서 측정된 결과는 1~21%(d.b.)로 미세캡슐화 오징어 간유 분말이 상대적으로 흡습에 안정한 분말이었으며 상대습도가 낮은 기후조건에서는 상온저장에서도 흡습에 비교적 안정하여 분체 물성을 유지할 수 있을 것으로 사료된다.

단분자층 수분함량

단분자층은 등온흡습곡선에서 처음부분으로 물분자가 carboxyl group이나 amino group과 이온결합을 하여 polar bond를 형성한 수분활성도가 낮은 곡선부분을 말한다. 분말식품류의 저장 안정성을 나타내는 것으로 알려진 단분자층 수분함량을 구하기 위하여 BET식과 GAB식을 이용하여 얻어진 계수 값을 Table 1에 나타내었다. BET식에 적용하였을 경우에는 R²가 0.895~0.968 사이로 비교적 높은 유의성을 나타내었으나 GAB식에 적용한 결과 전 구간에서 R²가 0.99이상이므로 높은 유의성을 가져 본 연구에서의 단분자층 수분함량을 예측하는데 무리가 없을 것으로 생각되며, 계산된 단분자층 수분함량은 0.085~0.157 g H₂O/g

Table 1. The regression coefficients and monolayer moisture content of microencapsulated squid liver oil powder determined by BET and GAB equation

Temp. (°C)	BET equation				GAB equation				
	C	m1	Sig. F	R ²	C	k	m1	Sig. F	R ²
10	6.527	0.024	0.015	0.895	0.388	5.631	0.085	0.005	0.995
20	5.310	0.024	0.010	0.921	0.296	6.934	0.129	0.001	0.999
30	5.542	0.021	0.002	0.968	0.263	7.180	0.157	0.001	0.999

m_1 : Monolayer moisture content(g H₂O/g dry solid)

C, k : Constants

dry solid의 값으로 나타났다. 이는 Lee & Lee(2007)가 차가버섯의 흡습특성연구에서도 GAB식이 BET식보다 더 높은 단분자층 수분함량을 갖는다는 보고와 유사하였다. 온도가 낮을수록 낮은 단분자층 수분함량을 보였으나 Kumar & Mishra(2006)은 yogurt powder의 흡습에 있어서 단분자층 수분함량이 온도가 증가함에 따라 감소하고, 이는 수분과 결합하는 자리수가 감소하기 때문으로 설명하여 본 연구결과와는 다른 양상을 보였다.

흡습엔탈피

미세캡슐화한 오징어 간유 분말의 흡습시 요구되는 엔탈피를 Table 2에 나타내었다. 수분활성도가 0.11에서 0.90으로 증가함에 따라 흡습엔탈피의 값은 1279.53 cal/mol에서 60.24 cal/mol로 급격히 감소되는 경향을 보였다. 등온흡습곡선(Fig. 2)을 보면 수분활성도가 증가할수록 수분함량도 높아졌는데 수분활성도가 높을수록 필요로 하는 흡습에너지

Table 2. The absorption enthalpy of microencapsulated squid liver oil powder

Water activity	Enthalpy of sorption (cal/mol)
0.11	1279.53
0.33	656.70
0.55	371.15
0.75	171.03
0.90	60.24

가 낮아져 흡습이 쉽게 이루어져 저장성이 약하다는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 Kim et al.(2005)의 보고와 유사한 경향이었으며, 일반적인 분말식품들은 통상 7~10%의 수분함량에서 저장되기 때문에 흡습성이 큰 분말을 저장할 경우 수분을 효과적으로 차단시켜 줄 수 있는 적절한 포장재나 저장조건을 유지해 주는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

등온흡습곡선의 적합도

흡습곡선 모델의 적합도를 알아보기 위해 본 연구에서는 6개의 기존 모델식을 사용하였지만, Al-Muhtaseb et al. (2004)은 이외의 다른 많은 모델식을 starch powder의 적절한 모델식을 찾고자 적용하였다. Table 3에 보는 바와 같이 가장 높은 적합도를 나타낸 모델식은 Kuhn 모델로 R²가 0.989~0.995로 온도에 관계없이 높은 적합도를 보여 미세캡슐화 오징어 간유 분말의 평형수분함량 예측모델로 활용이 가능하였다. 그 외 제시된 모델식의 R²는 Halsey, Caurie, Oswin, Henderson, Bradley 모델식 순으로 나타났으며, 모든 모델식의 R²가 0.90 이상의 높은 적합성을 보였다. Shau & Tiwari(2007)의 삼투처리한 sweet pepper의 흡습에 있어서도 Oswin 모델과 Halsey 모델의 적합도가 높다고 보고하여 이 두 모델이 범용적으로 사용될 수 있는 가능성을 보였다.

편차가 큰 Caurie 모델을 제외한 Oswin, Halsey 및 Kuhn 모델에 의하여 계산된 수분함량과 평형수분함량 측정치와

Table 3. The regression and significance values for the absorption model of microencapsulated squid liver oil powder

Temp. (°C)	Bradley				Kuhn				Caurie			
	lnK ₂	lnK ₁	Sig. F	R ²	b	a	Sig. F	R ²	ln A	r	Sig. F	R ²
10	0.053	-0.076	0.010	0.917	0.008	-0.022	0.000	0.989	-4.973	3.689	0.000	0.992
20	0.048	-0.071	0.012	0.907	0.005	-0.021	0.000	0.995	-5.024	3.615	0.001	0.985
30	0.054	-0.084	0.013	0.903	0.009	-0.023	0.000	0.990	-4.790	3.441	0.002	0.972
Temp. (°C)	Halsey				Henderson				Oswin			
	ln a	n	Sig. F	R ²	ln K	n	Sig. F	R ²	ln a	n	Sig. F	R ²
10	-3.643	-0.987	0.000	0.989	-2.608	0.987	0.004	0.953	-3.127	0.708	0.001	0.988
20	-3.725	-0.975	0.000	0.997	-2.707	0.966	0.006	0.943	-3.215	0.696	0.001	0.988
30	-3.553	-0.927	0.001	0.981	-2.590	0.908	0.012	0.908	-3.068	0.658	0.003	0.961

$k_2, k_1, a, b, A, r, n, K$: Constants of model equations.

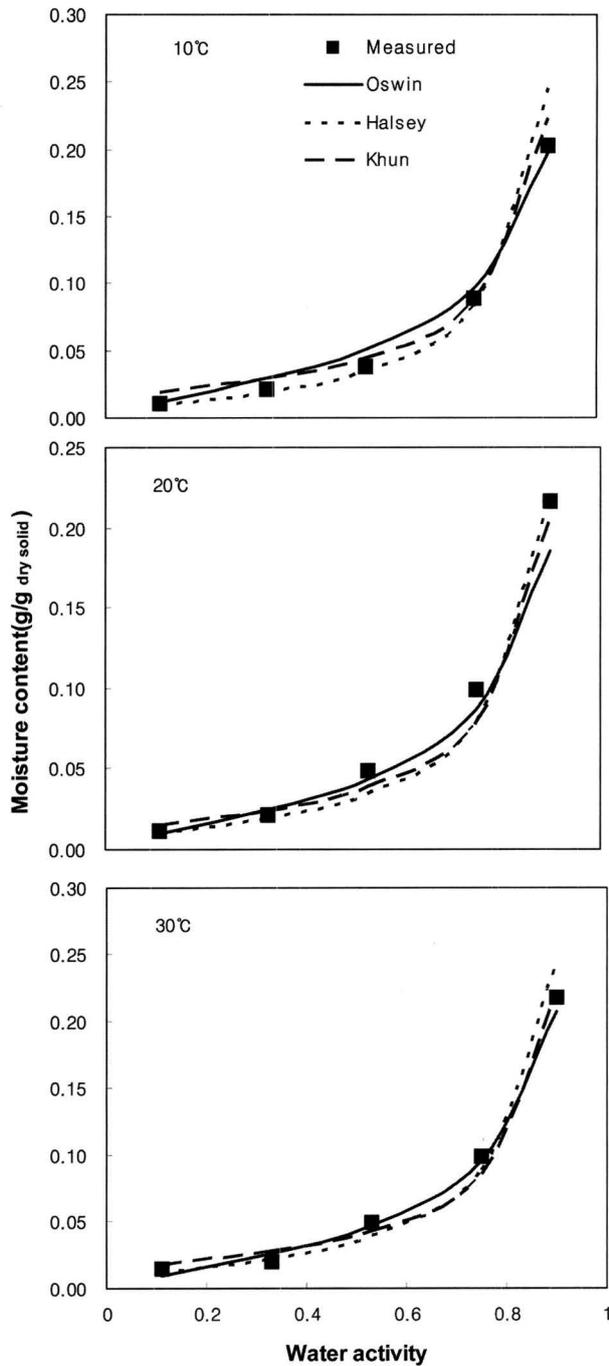


Fig. 3. Comparison of measured and calculated values by model equations on equilibrium moisture content of microencapsulated squid liver oil powder.

의 오차를 Fig. 3에 나타내었다. Oswin, Halsey, Kuhn 모델식에 의해 계산된 수분함량과 평형수분함량 측정치가 온도와 관계없이 모두 유사하게 나타나 세 모델식 모두 적절한 모델식임을 확인할 수 있었다.

평형상대습도 예측모델

미세캡슐화 오징어 간유 분말의 흡습 중 평형상대습도를

Table 4. The linear regression parameter coefficients of the prediction model equations for equilibrium water activity with time, water activity and temperature of microencapsulated squid liver oil powder

Model	Independent variables	Coefficients	Std. Error	R ²
I ¹⁾	Constant	2.135	0.896	0.978
	Aw	92.198	1.276	
II ²⁾	Constant	5.013	0.530	0.993
	Aw	83.715	0.827	
	ln(time)	3.471	0.158	
III ³⁾	Constant	4.031	0.683	0.993
	Aw	83.595	0.821	
	ln(time)	3.575	0.163	
	Temperature	0.054	0.024	

¹⁾The model Eq. is equilibrium water activity = a(Constant) + b(Aw)

²⁾The model Eq. is equilibrium water activity = a(Constant) + b(Aw) + c(ln(time))

³⁾The model Eq. is equilibrium water activity = a(Constant) + b(Aw) + c(ln(time)) + d(Temperature)

예측하기 위한 모델식을 수립하고자 하였다. 독립변수인 온도와 수분활성도, 시간의 변화에 따라 평형상대습도의 변화를 알아보려고 가장 적합도가 높은 함수를 선정한 결과 온도와 수분활성도의 경우 일차함수, 시간의 경우 로그 함수가 가장 높은 적합도를 보였다. Table 4에서 보는 바와 같이 첫 번째 모델식은 가장 유의성이 높은 수분활성도만을 독립변수로 하여 수립한 모델식으로서 R²가 0.978의 높은 적합도를 보였다. 또한 수분활성도와 시간을 변수로 하는 두 번째 모델식의 R²가 0.993 그리고 수분활성도, 시간, 온도를 변수로 하는 세 번째 모델의 R²가 0.993으로 나타나 온도의 영향은 거의 없는 것으로 나타났다. 따라서 수립된 예측모델식을 이용하여 수분활성도와 시간 온도 등의 저장 조건에 따라 흡습되는 오징어 간유 분말의 평형상대습도를 예측할 수 있을 것으로 생각된다.

요 약

미세캡슐화 오징어 간유 분말의 저장안정성을 알아보기 위하여 저장 중 흡습특성을 조사하였다. 평형수분함량은 수분활성도가 높아짐에 따라 빠르게 증가하는 양상이었으며, 높은 온도에서 낮은 함량을 나타내었다. 단분자층 수분함량은 BET식보다 GAB식이 높은 유의성을 나타내었다. 수분활성도가 증가함에 따라 필요로 하는 흡습에너지가 낮아져 흡습엔탈피는 감소하여 흡습이 쉽게 이루어짐을 알 수 있었다. 등온흡습곡선의 적합도는 Kuhn 모델이 R² 0.99 이상으로 높은 적합도를 나타내었고, Halsey, Caurie, Oswin 모델순으로 적합도를 나타내었다. 흡습 중 평형상대습도 예측 모델을 수립하기 위해 온도와 수분활성도의 경우 일차함수, 시간의 경우 로그 함수가 높은 적합도를 보였으며,

평형상대습도 예측모델식은 수분활성도만을 변수로 하는 모델식, 수분활성도와 시간을 변수로 하는 모델식과 수분활성도, 시간, 온도를 변수로 하는 모델식을 나타내어 가장 높은 R^2 가 0.993으로 나타났다.

참고문헌

- Al-Muhtaseb AH, McMinn WAM, Magee TRA. 2004. Water sorption isotherm of starch powders. Part 1: mathematical description of experimental data. *J. Food Eng.* 61: 297-307
- Apostolopoulos D, Gilbert SG. 1990. Water sorption of coffee solubles by frontal inverse gas chromatography : thermodynamic considerations. *J. Food Sci.* 55: 475-477
- Boquet R, Chirife J, Iglesias HA. 1978. Equations for fitting water sorption isotherms of foods. *J. Food Technol.* 13: 319-329
- Brunauer S, Emmet PH, Teller E. 1938. Adsorption of gases in multimolecular layers. *J. Am. Chem. Soc.* 66: 309-319.
- 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
- Kim HK, Jo KS, Wooderck SH, Shin DH. 1988. Browning and sorption characteristics of garlic powder with relative humidity and storage temperature. *Korean J. Food Sci. Technol.* 20: 399-404
- Kim JS, Kim JH, Ha YS. 2005. Absorption characteristics of soybean curd powder by drying methods. *Korean J. Food Preserv.* 12: 54-61
- Ko JW. 1998. Absorption characteristics shiitake mushroom(Lentinus edodes) powder by different drying methods. M.S. Thesis. Kyungpook National University, Korea
- Kumar P, Mishra HN. 2006. Moisture sorption characteristics of mango-soy fortified yogurt powder. *Intr. J. Dairy Tech.* 59: 22-28
- Labuza TP, McNally L, Gallagher D, Hawkes J, Hurtado F. 1972. Stability of intermediate moisture foods. *J. Food Sci.* 37: 154-160
- Lee MJ, Lee JH. 2007. Moisture sorption isotherm characteristics of Chaga mushroom powder as influenced by particle size. *Food Sci. Biotechnol.* 16: 154-158
- Peng G, Chen X, Wu W, Jiang X. 2007. Modeling of water sorption isotherm for corn starch. *J. Food Eng.* 80: 562-567.
- Pinche LA, Draper HH, Cole PD. 1988. Malondialdehyde excretion by subjects consuming cod liver oil vs a concentrate of n-3 fatty acid. *Lipids.* 23: 370-371
- Rahman MS. 1999. Handbook of food preservation. CRC Press. pp 339-340
- Risch SJ. 1993. Encapsulation. Overview of uses and techniques. In: Encapsulation and controlled release of food ingredients. Risch SJ and Reineccius GA(eds.). ACS symposium series No 590. American Chemical Society, Washington DC, USA. pp 2-7
- Sahu JK, Tiwari A. 2007. Moisture sorption isotherms of osmotically dehydrated sweet pepper. *Intr. J. Food Eng.* 3: 1-16
- Samaniego-Esquerria CM, Boag IF, Robertson GL. 1991. Comparison of regression methods for fitting GAB model to the moisture isotherms of some dried fruit and vegetables. *J. Food Eng.* 13: 115-133
- Shukla VKS, Perkins GE. 1991. The presence of oxidative polymeric material in encapsulated fish oils, *Lipids.* 36: 23-26
- Song JC, Park HJ. 1995 Physical, Functional, Textural and Rheological Properties of Foods, Ulsan University Press, Ulsan. pp 216-225
- 須山 三千三, 鴻巢 章二, 浜部 基, 田 行雄. 1983. イカの 利用, 恒星社 厚生閣, pp 52-100

(접수 2008년 5월 13일, 수정 2008년 7월 10일, 채택 2008년 7월 25일)