

당근의 삼투건조시 물질이동 특성

윤광섭 · 최용희
경북대학교 식품공학과

Mass Transfer Characteristics in the Osmotic Dehydration Process of Carrots

Kwang-Sup Youn and Yong-Hee Choi

Department of Food Science and Technology, Kyungpook National University

Abstract

Diffusion coefficients of moisture and solid, reaction rate constants of carotene destruction, and the fitness of drying models for moisture transfer were determined to study the characteristics of mass transfer during osmotic dehydration. Moisture loss and solid gain were increased with increase of temperature and concentration; temperature had higher osmotic effect than concentration. Diffusion coefficient showed similar trend with osmotic effect. Diffusion coefficients of solids were larger than those of moisture because the movement of solid was faster than that of moisture at the high temperature. Reaction rate constants were affected to the greater extent by concentration changes than by temperature changes. Arrhenius equation was applied to determine the effect of temperature on diffusion coefficients and reaction rate constants. Moisture diffusion required high activation energy in 20°brix, while relatively low in 60°brix. To predict the diffusion coefficients and reaction rate constants, a model was established by using the optimum functions of temperature and concentration. The model had high R² value when applied to diffusion coefficients, but low when applied to reaction rate constants. Quadratic drying model was most fittable to express moisture transfer during drying. In conclusion, moisture content of carrots could be predictable during the osmotic dehydration process, and thereby mass transfer characteristics could be determined by predicted moisture content and diffusion coefficient.

Key words: osmotic dehydration, diffusion coefficient, drying model, carrots

서 론

식품건조공정 중 가장 중요한 품질의 변화로는 수축, 영양성분의 손실, 비효소적 갈변 등이며 건조조건에 의하여 많은 영향을 받는 품질요소로는 영양성분의 변화와 비효소적 갈변으로 알려져 있다⁽¹⁾. 당근의 건조는 새로운 건조기술의 개발에도 불구하고 경제적인 이유로 타 채소류와 마찬가지로 열풍건조에 의해 이루어지고 있으며⁽²⁾ 열풍건조가 지니는 수축, 표면경화, 낮은 복원력, 색상 및 영양성분 파괴 등의 단점을 보완하기 위하여 많은 연구가 이루어지고 있다.

이와 같은 품질손상을 감소시키기 위해 건조 전처리로서 끓는 물이나 steam을 이용한 blanching⁽³⁾이나 sulfiting agent를 처리하는 방법⁽⁴⁾ 등이 있으나 sulfite의 사용이 FDA의 규제를 받아 ascorbic acid, citric acid 등으로 전처리한 보고가 있으며⁽⁵⁾, Ponting 등⁽⁶⁾에 의해서

개발된 삼투건조는 설탕이나 소금 등의 삼투압 효과를 이용한 건조전처리 방법으로 색이나 향에 대한 열손상을 최소화하고 건조시 변색을 막아줄 뿐만 아니라 산의 제거로 인한 신맛의 제거 및 단맛을 증가시킨다.

삼투건조의 본질은 수분활성도가 낮은 용액속에 침지하여 식품을 건조하게 되는데 일반적으로 설탕이나 소금이 사용되며 삼투건조 시 두가지의 흐름이 발생하게 된다. 그 중 하나가 용액에서 식품속으로 용질의 확산이며 나머지 하나는 식품에서 용액속으로 수분의 이동인데 용질의 확산보다는 수분의 확산도가 빠르므로 결과적으로 건조가 이루어진다. 따라서 용질의 비율에 따른 삼투압과 포화된 당용액의 삼투압의 평형에 따라 건조정도가 결정된다. 시간에 따른 수분과 용질의 농도 변화를 보면 침지 초기에 많은 양의 수분이 제거되므로 단시간의 침지는 건조 전처리 공정으로 사용될 수 있으며 과일 경우 당농도의 증가나 염장식품의 경우 소금의 농도 증가는 오히려 기호성이나 부가가치의 상승 효과가 있다⁽⁷⁾.

삼투 건조에 관한 연구로는 먼저 진공건조와 동결건조 전처리로서 삼투건조를 행한 보고가 있으며^(8,9), 용매의

Corresponding author: Yong-Hee Choi, Department of Food Science and Technology, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea

종류에 따른 삼투 효과에 관한 연구로는 Bolin 등⁽¹⁰⁾이 과일의 삼투건조시 sucrose와 HFCS(high fructose corn syrup)을 이용하여 그 효과를 상호 비교하였으며, Lericci 등⁽¹¹⁾은 용매인 glucose와 fructose에 소량의 NaCl을 첨가시켰을때 형태와 크기에 따른 수분손실 등을 연구하였고, Lenart 등⁽¹²⁾은 water activity와 여러 가지 factor로 삼투건조의 end point를 결정하고자 하였다.

삼투건조 속도를 설명하기 위한 모델로써 Conway 등⁽¹³⁾은 수분 손실과 무게 감소율을 확산식으로 평가하였다. 시료의 기하학적 형태에 따른 수분의 이동을 확산계수로서 나타낸 것으로는 Suarez 등⁽¹⁴⁾의 연구가 있고, Becker⁽¹⁵⁾는 확산계수를 시간의 함수로 나타내게 되면 속도상수가 시간의 평방근에 비례한다고 보고하였다. 이와 유사한 연구로서 물질이동 특성을 연구한 것으로는 Vaccarezza 등⁽¹⁶⁾, Saravacos 등⁽¹⁷⁾의 과일과 야채의 건조시 수분이동 메커니즘에 대한 연구가 있다.

품질변화 정도를 예측하고자 Saguy 등⁽¹⁸⁾은 여러 함수형태의 모델에 적용하였으며 Rice 등⁽¹⁹⁾은 ascorbic acid의 손실을 비정상상태 확산식의 걸보기 확산계수로서 메커니즘을 구명하고자 하였다. 이⁽¹⁾는 품질변화 kinetic을 화학반응 속도론적으로 모형화 하여 건조중 품질변화를 예측하여 건조공정의 최적화를 시도하였다. 영양성분의 손실에 대해 온도의 영향을 알아보고자 Labuza 등⁽²⁰⁾은 Arrhenius kinetic을 적용시켜 온도의 함수로서 나타내었다.

따라서 본 연구에서는 삼투건조시 물질이동 특성을 알아보기 위하여 온도와 농도 시간에 따른 수분의 이동과 용질의 이동을 확산식으로 평가하였으며 또한 품질변화 정도는 carotene 함량을 지표로하여 화학반응속도식으로 구명하고자 하였다. 삼투공정시 수분의 이동을 기존의 건조모델로 표현하고자 그 적합도를 조사하여 가장 적절한 건조모델을 찾아가하였다.

재료 및 방법

실험재료

최근 인스탄트식품에 첨가되는 부재료로써 많이 쓰이는 당근을 이용하였다. 1992년 수확한 생당근(*Daucus Carrot L.*, 黒田五寸)을 수세한 후 박피하여 냉동보관하면서 필요시마다 0°C 이하에서 해동하여 5×0.5 cm의 cylinder 형태로 절단하여 사용하였다.

삼투건조

항온수조를 이용하였으며 sucrose를 이용하여 각기 그 농도를 20, 40, 60°Brix로 조성한 후 시료와 용액의 담금비율을 1:5(w/v)로 하여 60, 70, 80°C에서 초기부터 20분까지 연속적으로 침지시킨 후 몇 초간 세척하여 시료 표면에 부착된 sucrose를 제거한 후 여과지를 이용하여 표면수분을 제거하여 분석을 행하였다.

수분함량

건조건조기(OVL-570, Gallen Kamp Co., England)를 이용하여 70°C, 69 mmHg에서 24시간 건조시켜 수분함량으로 결정하였다.

Carotene 정량

AOAC⁽²¹⁾법에 따라 carotene을 정량했다. 즉, 시료를 잘 마쇄한 후 hexane과 acetone 혼합액(6:4)을 가해서 추출을 반복조작한 다음 methanol을 가해 glass filter로 여과하여 색소를 완전히 추출하였다. 증류수를 가해 추출액을 분리한 다음 상등액을 취하여 spectrophotometer (CE393, CECIL Instrument Co., England)를 이용하여 436 nm에서 흡광도를 측정하여 β-carotene을 표준물질로 하여 정량하였다. Desrosiers 등⁽²²⁾의 보고와 같이 흡광도와 carotene 함량과의 관계를 회귀식으로 도출한 결과 R²는 0.9960였다.

$$\text{Carotene content}(\mu\text{g/g}) = 204.2927 \times (\text{Absorbance}) + 2.4361 \quad (1)$$

삼투건조시 용질이동

삼투건조 중 수분과 용질의 이동은 시료 내부의 용질이 삼투압용액에 대하여 확산작용이 일어나지 않으며 삼투압용액의 농도는 균일하다는 가정하에서 구하였다⁽¹⁰⁾.

$$\text{Solid gain}(\%) = \frac{\text{Final solid} - \text{initial solid}}{\text{Initial gross weight}} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Moisture loss}(\%) = \frac{\text{Initial moisture} - \text{Final moisture}}{\text{Initial moisture}} \times 100 \quad (3)$$

where, Initial gross weight: Initial weight of carrot(g)
Initial solid: Initial solid of carrot(g)
Final solid: Solid after osmotic dehydration(g)
Initial moisture: Initial moisture content of carrot(g)
Final moisture: Moisture content after osmotic dehydration(g)

확산계수

건조시 물질이동은 비정상 상태에서의 확산방정식, 즉 Fick의 제 2법칙인 확산방정식으로 해석할 수 있다⁽²³⁾. 실린더 형의 경우는 아래와 같은 식⁽²⁴⁾을 이용하여 수치해석법의 원리에 의해, 즉 실측치와 예측치의 제곱의 합이 최소화하도록 Basic 언어로 program을 작성하여 삼투건조동안의 용질과 수분의 이동에 따른 확산 계수를 결정하였다.

$$\frac{M_t - M_e}{M_\infty - M_e} = 4 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{R_n^2} \exp\left[-\left(\frac{D_{at}}{L^2}\right) R_n^2\right] \quad (4)$$

where, M_t : Moisture content at $t(\%)$
 M_0 : Initial moisture content $(\%)$
 M_e : Equilibrium moisture content $(\%)$
 R_n : The root of function $J_0(\text{order zero})$
 Da : Apparent diffusion coefficient (mm^2/s)
 L : Half the diameter (mm)
 t : Time (sec)

또한 확산계수에 미치는 온도의 영향은 Arrhenius equation 에 적용하여 온도의 영향과 activation energy를 구할 수 있다⁽²⁰⁾.

$$D = D_0 \cdot \exp(-Ea/RT) \quad (5)$$

where, D_0 : Pre-exponential factor (mm^2/s)
 Ea : Activation energy (cal/mole)
 R : Gas constant $(\text{cal}/\text{mole} \cdot \text{K})$
 T : Temperature (K)

품질변화특성

Carotene의 파괴정도에 대해 반응속도론적으로 품질 변화 kinetic을 결정하였다. Carotene 변화 kinetic을 1차 반응으로 가정하고 이들 반응의 온도의존성은 Arrhenius식으로하여 반응속도상수를 결정하고 품질변화특성을 예측하는 model을 수립하여 실험변수에 따른 영향을 조사하였다.

$$dC_A/dt = -kC_A \quad (6)$$

기존 건조 모델과의 적합도

삼투건조시 수분의 이동을 적절하게 표현하는 건조모델을 얻고자 기존의 여러 모델중에서 많이 이용되는 유사지수함수 모델⁽²⁵⁾, Page 모델⁽²⁶⁾ 그리고 quadratic 모델⁽²⁷⁾을 선정하여 적합시켜 보았다.

유사지수함수 모델

$$MR = n(\exp(-kt)) \quad (7)$$

Page 모델

$$MR = \exp(-kt^n) \quad (8)$$

Quadratic 모델

$$MR = 1 + At + Bt^2 \quad (9)$$

where, MR : Moisture ratio, $(M - M_e)/(M_0 - M_e)$
 M_0 : Initial moisture content $(\%)$
 M_e : Equilibrium moisture content $(\%)$
 t : Time
 k, n, A, B : Experimental constants

결과 및 고찰

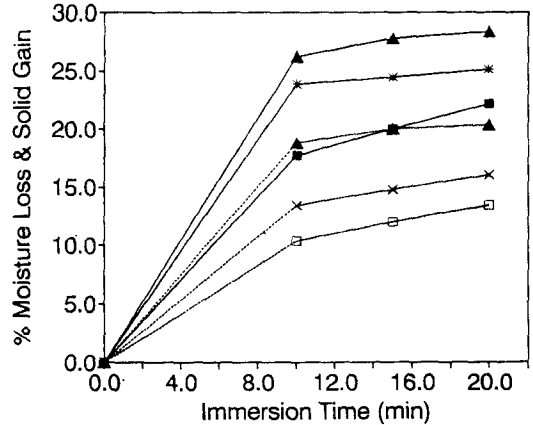


Fig. 1. Changes in moisture loss and solid gain with immersion time at various °brix at 80°C
 ■—■, M.L. at 20°Brix; *—*, M.L. at 40°Brix, ▲—▲, M.L. at 60°Brix; □—□, S.G. at 20°Brix; ×—×, S.G. at 40°Brix, ▲—▲, S.G. at 60°Brix

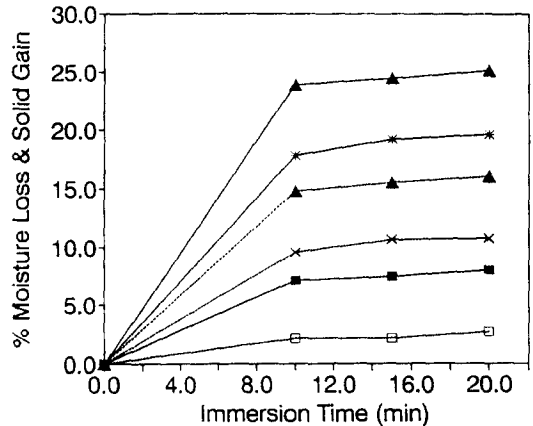


Fig. 2. Changes in moisture loss and solid gain with immersion time at various temperature at 40 °brix
 ■—■, M.L. at 60°C; *—*, M.L. at 70°C, ▲—▲, M.L. at 80°C; □—□, S.G. at 60°C; ×—×, S.G. at 70°C, ▲—▲, S.G. at 80°C

농도의 영향

80°C의 용액에 침지한 당근의 농도에 따른 수분과 용질의 변화를 Fig.1에 나타내었다. 수분 손실의 경우 저농도에서보다 고농도에서 초기 10분까지의 빠른 증가와 함께 평형에 일찍 도달하는 것으로 나타나 건조가 빠르게 진행되었고 저농도에서는 10분 이후에도 계속적인 수분 손실을 보이고 있음을 알 수 있다. 용질의 증가도 수분 손실과 유사한 경향으로 고농도에서 높은 값을 보였다. 이는 당농도에 따른 삼투압의 차이나 시간에 따른 삼투압의 변화나 당의 흡수로 인한 당근내부의 수분이동의 저해 등으로 인한 것으로 김⁽²⁸⁾이 보고한 결과와 유사한

Table 1. Calculated diffusion coefficients and kinetic parameters of carotene destruction in osmotic dehydration of carrots

Temp. °C	Conc. °Brix	Diffusion coefficient ¹⁾		Kinetic parameters
		Moisture	Solid	Carotene ²⁾
60	20	0.000001	0.000001	0.017
60	40	0.000018	0.000012	0.029
60	60	0.000060	0.000059	0.027
70	20	0.000007	0.000019	0.023
70	40	0.000052	0.000103	0.022
70	60	0.000082	0.000091	0.027
80	20	0.000010	0.000064	0.023
80	40	0.000048	0.000130	0.021
80	60	0.000120	0.000170	0.031

¹⁾ Diffusion coefficient: (mm²/sec)

²⁾ Carotene destruction (k): $\frac{dC_A}{dt} = -kC_A$

경향으로 나타났다.

온도의 영향

40°Brix의 농도에서의 온도에 따른 수분과 용질의 증감을 Fig. 2에 나타내었다. 침지온도의 높아짐에 따라 수분손실이나 용질이 모두 증가함을 보여주고 있으며 저온에서는 비교적 낮은 변화율을 보이고 있으나 고온에서는 그 변화폭이 증가하였다. 수분손실이나 용질의 증가 모두 농도의 영향 보다는 온도의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다.

확산계수와 품질변화특성

삼투건조시 수분과 용질의 이동을 확산에 의한 현상이라고 해석하고 Fick의 제 2법칙을 적용한 식 (4)를 이용하여 Basic 언어로 program을 작성하여 확산계수를 구함으로써 건조 전처리로서 삼투건조시의 수분과 용질 이동 mechanism을 구명하고자 하였다. 또한 품질변화 kinetic을 반응 속도론적으로 model화 하기 위하여 carotene의 함량 변화를 1차 반응으로 하여 반응속도론에 상사시켜 각 반응속도상수를 결정하였다. 즉 식 (6)에 대하여 회귀분석을 실시하여 얻은 반응속도상수와 확산계수를 Table 1에 나타내었다.

수분이나 용질의 이동 모두 온도나 농도의 증가시 높은 확산계수를 가져 확산이 빠르게 일어남을 알 수 있다. 낮은 온도(60°C)에서는 수분의 확산도가 용질의 확산도 보다 높았으나, 고온에서는 용질의 확산계수가 수분보다 높았는데 그 이유는 고온에서 용질이 활발하게 이동하기 때문으로 용매로의 수분의 이동보다는 당근내부로의 용질의 이동이 더 크다는 것을 보여준다고 할 수 있다.

Carotene의 품질변화를 나타내는 반응의 속도상수는 온도의 증가에 따라 대체적으로 높은 값을 보이지만 농도의 증가에 따라 더 큰 값을 가져 품질의 파괴가 많이 일어남을 알 수 있었다. 이¹⁾가 무의 열풍건조시 보고한

Table 2. R-squares and coefficient values¹⁾ in the prediction model of diffusion coefficients and kinetic parameters using Arrhenius equation at various concentrations

Values	Conc. °Brix	Diffusion coefficients ¹⁾		Kinetic parameters
		Moisture	Solid	Carotene ²⁾
R ²	20	0.8743	0.9529	0.7644
	40	0.7046	0.8352	0.8672
	60	0.9946	0.9854	0.7353
a ₁	20	-13.6202	-24.5355	-5.2830
	40	-5.8283	-14.1093	-6.1334
	60	-4.0689	-6.2072	-4.5767
a ₂	20	34.2401	67.0326	18.5143
	40	13.6639	38.2462	21.0171
	60	9.3911	15.7740	10.4424

¹⁾ a₁ and a₂ is the slope and intercept of the curve of ln(k) vs 1/T

²⁾ kinetic parameter for carotene destruction

ascorbic acid의 경우 고온에서 반응속도상수가 높고 온도의 영향은 고수분에서 큰것으로 나타났으며 수분함량의 감소로 증가함을 보여 임계수분함량에서 최대를 보였는데 당근의 경우도 고농도에서 큰 값을 보였다.

확산계수와 품질변화 속도상수에 대한 각 농도에서의 온도의 영향을 알아보고자 Arrhenius 식에 적합시켜서 얻은 R²와 계수값들을 Table 2에 나타내었다. R²는 모두 다 높은 편으로 대체적으로 온도의 영향은 Arrhenius 식에 따른다고 볼 수 있다. 계수인 a₁은 활성화 에너지(Ea)를 기체상수(R)로 나눈 값으로 수분의 경우는 낮은 농도인 20°Brix에서는 확산에 많은 에너지가 필요하고 상대적으로 고농도인 40°Brix와 60°Brix에서는 낮은 에너지로도 확산이 쉽게 일어남을 알 수 있다. 용질의 경우에는 20°Brix와 40°Brix에서 많은 활성화에너지를 요하고 고농도인 60°Brix에서는 상대적으로 낮은 에너지로도 용질의 확산이 일어난다고 볼 수 있다. 따라서 수분의 이동은 40°Brix에서, 용질의 이동은 60°Brix에서 확산이 활발히 일어남을 알 수 있었다. 품질변화를 나타내는 속도상수에 있어서는 활성화에너지의 크기가 비슷한 정도로 농도에 의한 영향은 유사한 것으로 나타났다.

수분의 이동에 따른 확산계수의 온도 영향을 Arrhenius 식에 적용시켜 본 결과를 Fig. 3에 농도별로 나타내었다. 40, 60°Brix에서 큰 값을 가지며, 특히 저농도에서 낮은 값을 보였지만 각 농도에서의 온도의 영향을 나타내는 기울기는 비슷한 크기로 유사한 경향을 보였으며 이것으로 보아 고온, 고농도에서 확산이 활발히 일어남을 알 수 있었다. Fig. 4는 용질의 이동을 나타낸 그림으로 수분의 이동과 유사한 경향을 보이고 있으나 수분의 이동에 비해 고온에서(80°C)는 농도의 영향이 크지 않으나 고온에서 저온으로 갈수록 농도의 영향이 점차 커짐을 알 수 있었다. 이는 확산정도가 저온에서는 온도보다는 농도에 따라 용질의 이동이 활발하며 상대

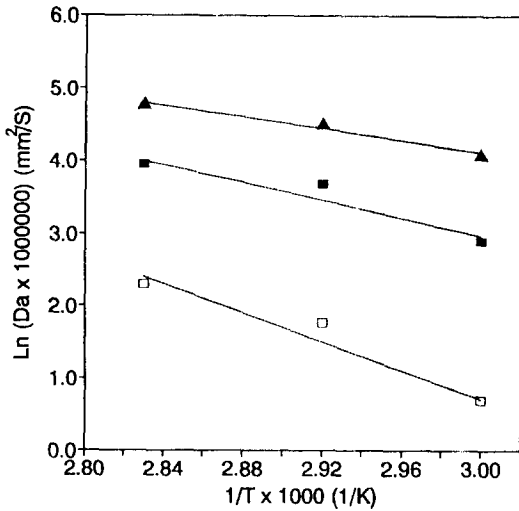


Fig. 3. Effect of temperature on diffusion coefficients of moisture during osmotic dehydration of carrots at various °brix

□, 20°Brix; ■, 40°Brix; ▲, 60°Brix

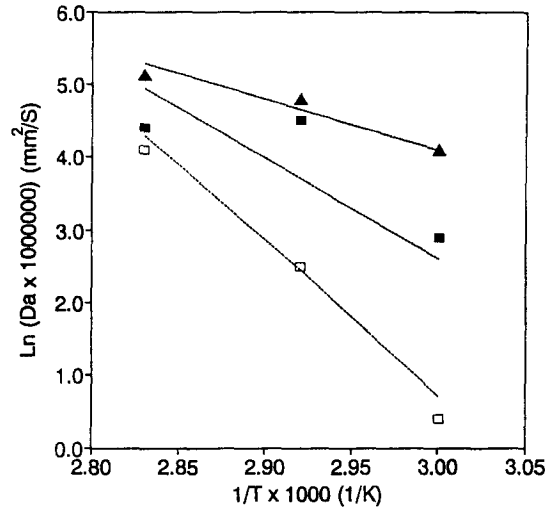


Fig. 4. Effect of temperature on diffusion coefficients of solid during osmotic dehydration of carrots at various °brix

□, 20°Brix; ■, 40°Brix; ▲, 60°Brix

적으로 수분의 이동은 크지 않음을 보여준다고 할 수 있다. 이것으로 수분의 이동보다는 용질의 이동이 온도에 더 큰 영향을 받으며 특히 저농도에서 그 영향이 더 큰 것을 알 수 있었다.

예측모델

확산계수와 반응속도상수를 침지 온도와 농도를 독립 변수로 하여 예측하고자 각 독립 변수의 최적함수를 구하여 수립한 최적 함수 모델식과 polynomial형태로 모델화 하였을 경우의 R² 값을 Table 3에 나타내었다. 확산계수의 경우 수분이나 용질 모두 0.95 이상으로 높은 적합도를 보이거나 품질변화를 나타내는 반응속도상수는 다소 낮아 온도와 농도의 함수로 예측하기에는 미흡한 것으로 나타났다. 온도와 농도에 따른 확산계수의 예측 모델을 이용하여 얻은 확산계수로서 삼투건조시의 수분이나 용질의 이동정도를 예측할 수 있을 것으로 생각 된다.

기존 모델과의 적합도

삼투건조 공정 중 수분의 이동을 시간의 함수로 표현하기 위해 가장 적합한 모델을 선정하고자 기존의 여러 건조 모델 중 유사지수함수 모델, Page 모델, 그리고 quadratic 모델을 선정하여 각각의 R²값과 그 계수값을 구해서 적합도를 알아보고자 그 결과를 나타내었다. 건조공정의 수분이동 메커니즘을 설명하기 위해 식 (7)의 유사지수함수 모델을 MODEL 1, 식 (8)의 Page 모델을 MODEL 2, 식 (9)의 quadratic 모델을 MODEL 3으로 두고 각각 회귀분석을 실시하였다. 삼투건조시 시간에

Table 3. R² of model as optimum function and second degree polynomial of temperature and concentration of immersion solution for response variables

Response Variables	Function		Model R ²	Polynomial R ²
	Temp.	Conc.		
Da ¹⁾	1/T ²	C ²	0.9743	0.9796
Da ²⁾	T	ln(C)	0.9460	0.9427
k ³⁾	Exp(T)	Exp(C)	0.5725	0.5016

¹⁾Diffusion coefficient for moisture loss

²⁾Diffusion coefficient for solid gain

³⁾Kinetic parameters for carotene destruction

따른 수분의 이동을 기존의 모델에 적용시켜 본 결과를 Table 4에 나타내었다. MODEL 3인 quadratic 모델의 R² 값이 침지온도와 농도에 관계없이 전반적으로 0.99 이상으로 나타나 다른 모델 보다 더 높은 적용 가능성을 보였다. 따라서 quadratic 모델을 이용하여 삼투건조공정에서의 시간에 따른 수분함량을 예측할 수 있으며 확산계수와 아울러 물질이동 특성을 나타낼 수 있을 것으로 생각 된다.

각 건조 모델에 의한 적합성을 알아보기 위해 수분 함량비의 계산치와 각 모델에 의해 계산된 예측치를 그림으로 나타내었다. Fig. 5는 삼투건조의 경우(80℃, 20°Brix)로 세가지 모델 모두 비슷한 정도의 일치성을 보이고 있으나, Model 3인 quadratic 모델이 가장 높은 결정계수를 가졌다.

Table 4. Results of regression analysis for different models of carrots in osmotic dehydration

Temp. °C	Conc. °Brix	Model 1 ¹⁾			Model 2 ²⁾			Model 3 ³⁾		
		R ²	a ₁	a ₂	R ²	a ₁	a ₂	R ²	a ₁	a ₂
60	20	0.8269	-0.0896	0.0012	0.8990	-1.9685	-0.2546	0.9901	-0.0108	0.0004
60	40	0.7297	-0.2622	0.0015	0.6384	-1.4416	0.0687	0.9916	-0.0333	0.0010
60	60	1.0000	-0.3165	0.0171	0.9963	-1.7152	0.4316	0.9988	-0.0504	0.0013
70	20	0.9827	-0.1402	0.0027	0.9568	-2.2732	0.2095	0.9974	-0.0206	0.0006
70	40	0.5259	-0.4570	0.0048	0.6336	-1.0242	0.1444	0.9994	-0.0552	0.0017
70	60	0.1220	-0.6317	0.0057	0.0522	-0.5407	0.0767	0.9878	-0.0668	0.0020
80	20	0.9752	-0.0547	0.0102	0.9645	-3.4422	0.6940	0.9981	-0.0168	0.0003
80	40	0.8830	-0.4418	0.0040	0.9352	-1.0072	0.1186	0.9983	-0.0529	0.0017
80	60	0.5061	-0.7889	0.0082	0.6152	-0.4782	0.1439	0.9992	-0.0810	0.0026

¹⁾ Model 1: $MR = B(\exp(-At))$ Approximation of diffusion Model
 a_1 and a_2 are the slope and the intercept of the curve of $\ln(MR)$ vs t
²⁾ Model 2: $MR = \exp(-At^n)$ Page Model
 a_1 and a_2 are the slope and the intercept of the curve of $\ln(-\ln(MR))$ vs $\ln(t)$
³⁾ Model 3: $MR = 1 + a_1t + a_2t^2$ Quadratic Model

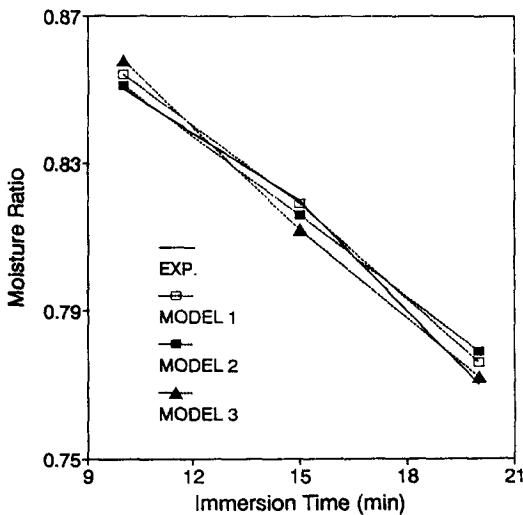


Fig. 5. Comparison of experimental and predicted values for different models during osmotic dehydration at 80°C and 20°brix

요 약

삼투건조시 물질이동 특성을 알아보기 위하여 수분과 용질의 이동을 확산식으로 평가하여 침지온도와 농도에 따른 영향을 조사하였으며 또한 품질변화 정도는 carotene 함량을 지표로 하여 반응속도식으로 구명하고자 하였으며 삼투공정시 수분의 이동을 기존의 건조모델로 표현하고자 적합도를 알아보았다.

수분손실이나 용질의 증가는 온도와 농도가 증가함에 따라 높은값을 보였으며 농도보다는 온도의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 확산계수 또한 고온과 고농도에서 높은 값을 가져 확산이 빠르게 일어남을 알 수 있었다.

고온에서는 수분 손실이 용질의 증가보다 높아 용질의 확산계수가 수분의 확산계수보다 높았으며, 품질변화를 나타내는 반응속도상수는 온도의 증가보다 농도의 증가에 따라 더 큰 값을 가져 고농도에서 파괴가 많이 일어남을 알 수 있었다.

확산계수와 품질변화 속도상수에 대한 온도의 영향을 알아보려고 Arrhenius 식에 적합시켜 본 결과 낮은 농도인 20°Brix에서 확산에 많은 활성화에너지가 필요하고 고농도인 60°Brix에서는 상대적으로 낮은 활성화에너지로 용질의 확산이 일어난다는 것을 알 수 있었고 활성화에너지의 크기로 보아 수분의 이동은 40°Brix에서, 용질의 이동은 60°Brix에서 이동이 효과적으로 일어남을 알 수 있었다.

침지온도와 농도를 독립변수로 하여 확산계수와 반응속도상수를 예측하고자 각 독립 변수의 최적함수를 구하여 수립한 최적 함수 모델식과 polynomial 형태로 모델화 하였을 경우 수분이나 용질의 확산계수는 높은 적합도를 결정계수를 가지나 품질변화를 나타내는 반응속도상수는 다소 낮아 온도와 농도의 함수로 예측하기에는 미흡한 것으로 나타났다.

삼투건조 공정 중 수분의 이동을 시간의 함수로 표현하기 위한 가장 적합한 모델은 quadratic 모델의 R² 값이 침지온도와 농도에 관계없이 전반적으로 0.99 이상으로 나타나 다른 모델 보다 더 높은 적용 가능성을 보였다. 따라서 quadratic 모델을 이용하여 삼투건조공정에서의 시간에 따른 수분함량을 예측할 수 있으며 확산계수와 아울러 물질이동 특성을 나타낼 수 있는 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 1992년도 한국과학재단의 연구비 지원으로 이루어진 결과로 이에 감사를 드립니다.

문헌

1. 이동선 : 식품건조의 최적화 연구. 연세대학교 박사학위 논문 (1987)
2. Mazza, G.: Dehydration of carrots Effects of predrying treatments on moisture transport and product quality. *J. Food Technol.*, **18**, 113 (1983)
3. Poulsen, R.L.: Optimization of vegetable blanching. *Food Technol.*, **40**, 122 (1986)
4. Labele, R.L. and Moyer, J.C.: Dehydrofreezing red tart cherries. *Food Technol.*, **20**, p.1345 (1966)
5. Langdon, T.T.: Preventing of browning in fresh prepared potatoes without the use of sulfiting agents. *Food Technol.*, **41**, 64 (1987)
6. Ponting, J.D., Watters, G.G., Ferry, R.R., Jacson, R. and Stanley, W.L.: Osmotic dehydration of fruits. *Food Technol.*, **20**, 1365 (1966)
7. Karel, M., Fennema, O.R. and Lund, D.B.: Principles of food science, Physical properties of food preservation. Marcel Dekker Inc., p.348 (1975)
8. Dixon, G.M., Jen, J.J. and Paynter, V.A.: Tasty apple slices results from combined osmotic-dehydration and vacuum-drying process. *Food Prod. Dev.*, **10**, 60 (1976)
9. Hawkes, J. and Flink, J.M.: Osmotic concentration of fruit slices prior to freeze dehydration. *J. Food Process. Preserve.*, **2**, 265 (1978)
10. Bolin, H.R., Huxsoll, C.C., Jackson, R. and NG, K.C.: Effect of osmotic agents and concentration on fruit quality. *J. Food Sci.*, **48**, 202 (1983)
11. Lericci, C.R., Pinnavaia, G., Dalla, R.M. and Bartolucci, L.: Influence of osmotic agents on drying behavior and product quality. *J. Food Sci.*, **50**, 1217 (1985)
12. Lenart, A. and Flink, M.: Osmotic concentration of potatoes, Criteria for the end-point of the osmosis process. *J. Food Technol.*, **19**, 45 (1984)
13. Conway, J., Castaigne, F., Pierd, G. and Voras, X.: Mass transfer consideration in the osmotic dehydration of apples. *Can. Inst. Food Sci. Technol.*, **16**, 25 (1983)
14. Surez, C., Chirife, J. and Viollaz, P.: Shape characterization for a simple diffusion analysis of drying of grains. *J. Food Sci.*, **47**, 410 (1982)
15. Becker, H.A.: On the absorption of liquid water by the wheat kernel. *Cereal Chem.*, **37**, 309 (1960)
16. Vaccarezza, L.M. and Chirife, J.: On the mechanism of moisture transport during air drying of sugar beet root. *J. Food Sci.*, **40**, 1286 (1975)
17. Saravacos, G.D. and Charm, S.E.: A study of the mechanism of fruit and vegetable dehydration. *Food Technol.*, **26**, 78 (1965)
18. Saguy, I. and Karel, M.: Modeling of quality deterioration during food processing and storage. *Food Technol.*, **34**, 78 (1980)
19. Rice, P. and Selman, J.D.: Apparent diffusivities of ascorbic acid in peas during water blanching. *J. Food Technol.*, **19**, 121 (1984)
20. Labuza, T.P. and Riboh, D.: Theory and application of Arrhenius kinetics to the prediction of nutrient losses. *Food Technol.*, **36**, 66 (1982)
21. A.O.A.C.: Official method of analysis. 15th Ed., Association of official analytical chemists Inc., Washington, D.C., p.1048 (1990)
22. Desresiers, T., Smyrl, T.G. and Paquette, G.: Retention of carotene in green peppers and peaches after a home dehydration process. *Can. Inst. Food Sci. Technol.*, **18**, 144 (1985)
23. Crank, J.: *The mathematics of diffusion*. Oxford at the clarendon press., p.7 (1975)
24. Selman, J.D., Rice, P. and Abdul-Rezzak, D.K.: A study of the apparent diffusion coefficient for solute losses from carrot tissue during blanching in water. *J. Food Technol.*, **18**, 427 (1983)
25. Chen, C.S. and Johnson, W.H.: Kinetics of moisture movement in hygroscopic materials. (I. Theoretical considerations of drying pheonomena) *Trans. of ASAE.*, **12**, 109 (1969)
26. Manjeet, S.C.: Evalation of selected mathematical models for describing thin layer drying of In-Shell Pecans. *Trans. of ASAE.*, **33**, 610 (1990)
27. Wang, C.Y. and Singh, R.P.: A single layer drying equation for rough rice. ASAE paper No. 78-3001 (1978)
28. Kim, M.H. and Toledo, R.T.: Effect of osmotic dehydration and high temperature fluidized bed drying on properties of dehydrated rabbiteye blueberries. *J. Food Sci.*, **52**, 980 (1987)

(1995년 2월 14일 접수)