

삼투처리한 당근의 건조 특성

윤광섭 · 최용희

경북대학교 식품공학과

Drying Characteristics of Osmotically Pre-treated Carrots

Kwang-Sup Youn and Yong-Hee Choi

Department of Food Science and Technology, Kyungpook National University

Abstract

The physical characteristics changes of carrots during drying were studied to minimize the quality degradation by applying improved drying process and pretreatment method. Physico-chemical properties of the product were analyzed, and then, drying mechanisms were explained by diffusion coefficients and drying models. In hot air drying process, the drying and rehydration efficiencies were high at low relative humidity and high temperature. Browning degree and specific volume also showed similar trend to drying efficiency. Diffusion coefficient, which describes moisture transfer, was also high at low relative humidity and at high temperature. It was verified using Arrhenius equation that drying process was influenced by temperature. It was also observed during experiment that temperature changes were more effective in drying than relative humidity changes. Quadratic model was the most fittable in explaining the process. As a result of analyzing the experimental data with respect to the drying time, the contents of carotene and moisture could be modeled as a polynomial. As the air velocity increased, drying performance and rehydration efficiency increased.

Key words: osmotic dehydration, drying and rehydration characteristics, carrots

서 론

경제 성장과 더불어 소득이 증가하고 생활 수준이 향상됨에 따라 식생활 패턴이 점차 서구화, 다양화하고 있어 instant식품의 소비증가와 함께 이의 부재료로 침가되는 건조 채소류의 품질개선을 위한 건조방법 및 전처리에 관한 많은 연구가 진행중이다.

이들 채소류 가운데 당근은 2년근으로 carotene에 의해 황색이나 등황색을 띠는데 당근이 지니는 등황색의 색소는 vitamin A의 전구물질로 알려진 β -carotene으로서 타 채소류에 비해 그 함량이 매우 높아 항산화효과, 항암작용 및 성인병 예방 등의 기능을 가지고 있다고 알려져 있다^(1,2). 당근의 건조는 새로운 건조 기술의 개발에도 불구하고 경제적인 이유로 타 채소류와 마찬가지로 열풍건조에 의해 이루어지고 있으며⁽³⁾ 열풍건조가 지니는 수축, 표면경화, 낮은 복원력, 색상 및 영양성분 파괴 등의 단점을 보완하기 위하여 많은 연구가 이루어지고 있다^(4,5).

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

Ponting 등⁽⁶⁾에 의해서 개발된 삼투건조는 고농도의 설탕과 소금을 사용하여 건조물을 직접 접촉하여 수분을 부분적으로 제거하는 것으로 건조 중 에너지를 감소하는 효율적인 방법이며 열풍건조에 비해 2-3배의 에너지 감소 효과가 있다. 낮은 가공온도로 조직의 변화가 거의 없으며 변색을 방지하고 당에 의해 건조동안 휘발성 향기성분의 손실을 방지해 주는 것으로 알려져 있다. 또한 당의 계속적 흡수로 산화와 효소적 갈변을 방지하므로 황의 처리가 필요없게 된다.

삼투 건조에 관한 연구로는 먼저 진공건조와 동결건조 전처리로서 삼투건조를 행한 보고가 있으며^(7,8), Lazarides 등⁽¹⁰⁾은 삼투처리 후 침지액에 따른 저장안정성을 흡습특성으로 알아보았다. 용매의 종류에 따른 삼투 효과에 관한 연구로는 Lerici 등⁽¹¹⁾이 용매인 glucose와 fructose에 소량의 NaCl을 첨가시켰을 때 형태와 크기에 따른 수분 손실 등을 연구하였는데 용질의 분자량이 작을수록 용질의 침투와 깊이는 커진다고 보고하였으며, A/L(총표면적/half thickness) 비율의 증가는 높은 수분 손실과 용질의 증가를 보인다고 하였다. Lenart 등⁽¹²⁾은 water activity와 여러가지 factor로 삼투건조의 end point를 결정하고자 하였다.

Rice 등⁽¹³⁾은 ascorbic acid의 손실을 비정상상태 확산식의 곁보기 확산계수 값으로 품질변화 정도를 예측하고자 하였으며 정 등⁽¹⁴⁾은 품질변화 kinetics를 화학반응 속도론적으로 모형화하여 건조 중 품질변화를 예측하여 건조공정의 최적화를 시도하였다. 품질변화에 따른 온도의 영향을 알아보고자 Labuza 등⁽¹⁵⁾은 Arrhenius kinetics를 적용시켜 온도의 함수로서 나타내었다.

건조 채소류의 품질은 조직감이나 향기, 색깔 뿐만 아니라 원래 상태에 근접할 수 있는 재수화능력과도 밀접한 관계가 있으며 이러한 재수화 효율은 전처리 방법 및 건조방법에 의해서 결정되는데 재수화 공정이 단순한 건조의 역반응이 아니므로 다성분계인 식품에 있어서 재수화 후의 식품의 상태는 protoplasmic protein의 응축, water-binding capacity의 감소, 섬유소나 전분의 결정화 등 형태 및 조직변화에 따라 큰 차이를 나타낸다⁽¹⁶⁾.

이와 같은 전처리 및 건조방법이 재수화 효율에 미치는 영향에 관한 연구로 McIlrath 등⁽¹⁷⁾이 수확시기를 달리한 근대(chard)잎의 건조정도에 따른 재수화 효율을 rehydration ratio와 rehydration coefficient로 나타내었고 Horn 등⁽¹⁸⁾은 여러가지 염 및 가식성 polyhydroxyl compounds의 첨가가 celery와 당근의 재수화에 미치는 영향을 부피 변화로 관찰하였다. Neubert 등⁽¹⁹⁾은 재수화시 교반을 행하는 것이 효율을 증대시키나 pectin과 PVP (poly vinyl pyrrolidone) 첨가는 재수화 효율을 억제시키고 sucrose는 영향을 주지 않는다고 보고하였다.

따라서 본 연구에서는 품질이 우수한 건조당근을 제조하기 위하여 건조 전처리 방법으로 삼투건조를 행한 후 열풍건조를 하였다. 열풍건조시 물질이동 특성을 확산계수로 알아보고 건조 공정을 모델화하고자 기존의 건조모델에 적용시켜 적절한 모델을 찾고자 하였다. 또한 시간과 풍속에 따른 건조특성과 건조 당근의 품질 안정성을 재수화 공정을 통하여 알아보고자 하였다.

재료 및 방법

실험 재료

최근 인스탄트식품에 첨가되는 부재료로서 많이 쓰이는 당근을 이용하였다. 1994년 수확한 생당근 (*Daucus Carrot L.*, 黑田五寸)을 수세한 후 바փ하여 냉동보관하면서 필요시마다 0°C 이하에서 해동하여 5×0.5 cm의 cylinder 형태로 절단하여 사용하였다.

삼투건조

Agent로서 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.

열풍건조

본 실험에 사용한 열풍건조기는 송풍 부분, 공기가 열 부분, 건조실, 제어 및 접속 부분, 마이크로 컴퓨터 및 주변장치로 구성하여 실험실 규모로 제작하였으며 온도를 50, 60, 70°C로 상대습도를 20, 30, 40%로 제어하면서 온도와 무게를 건조 초기부터 7시간까지 매 5분 간격으로 계측 수집하였고, 또한 풍속을 0.5-3.67 m/s로 변화하면서 그 영향을 알아보았다. 습도 조절은 가습기에 자동습도조절기(Saginamiya Catalog No. VFS-c1090)를 연결시켜 건조기의 상단에 부착하여 조절하였다. 풍속은 1-15 m/s까지 측정이 가능한 anemometer (Sato keiryoki seisakusho, Japan)로 측정하였다.

온도와 상대습도를 공정 변수로 하였으며 건조공정의 계측 시스템은 16 bit microcomputer, 12 bit ADC와 디지털 입출력 port가 내장된 interface board 그리고 변환 회로와 센서 등으로 구성하였고 이를 활용하여 온도와 무게변화를 측정하였다.

재수화

500 ml의 바이커를 사용하여 100°C의 증류수에 10분간 완전히 침지시켜 2분간 drain시킨 후 분석하였다.

수분함량

진공건조기(OVL-570, Gallen Kamp Co., England)를 이용하여 70°C, 70 mmHg에서 24시간 건조시켜 수분 함량으로 결정하였으며 대조구의 수분함량은 92.46%였다.

Carotene

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 상징액을 취하여 spectrophotometer (CE393, CECIL Instrument Co., England)를 이용하여 436 nm에서 흡광도를 측정하였다⁽²⁰⁾.

갈변도

건조 후 시료를 분쇄시킨 다음 1.3 g을 취하고 40 ml의 중류수를 가한 다음 10% trichloroacetic acid 용액 10 ml를 첨가하여 실온에서 2시간동안 방치한 후 여과하여 spectrophotometer (CE393, CECIL Instrument Co., England)를 이용하여 420 nm에서 흡광도를 측정하였다⁽²¹⁾.

Specific volume

50 ml 메스 실린더를 이용하여 각 건조한 시료를 일정량 취한 후 줍쌀로 충진하여 부피를 측정하고 그 부피에서 줍쌀의 부피를 뺀 부피를 시료의 부피로 하여 시료의 무게로 나누어서 결정하였다.

색도변화

색차계(Chromameter, Minolta Co., CR200, Japan)를 사용하여 L값 (whiteness), a값(redness), b값(yellowness)과 전반적인 색차 ΔE 는 처리전 시료를 기준으로 하여 아래 식 (1)으로 나타내었다.

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (1)$$

재수화특성 측정

Rehydration ratio는 일정시간 재수화 후의 시료 무게와 건조시료의 초기 무게 비로서 구하였으며, 수분의 흡수량은 일정시간 재수화 후의 시료 무게에서 건조후 무게를 뺀 값을 g 당 흡수량으로 환산하여 표시하였고, 식 (2)의 Becker 확산식⁽²²⁾으로서 재수화시 수분 함량의 변화로부터 수분흡수 속도 상수를 결정하였다.

$$m - m_0 = -k_0 \sqrt{t} \quad (2)$$

여기서, m : 수분흡수량(g water/g solid)

m_0 : 초기수분량(g water/g solid)

k_0 : 흡수속도상수(min⁻¹)

확산계수

건조시 물질이동은 비정상 상태에서의 확산방정식, 즉 Fick의 제2법칙인 확산방정식으로 해석할 수 있다. 실린더 형의 경우는 식 (3)⁽²³⁾을 이용하여 수치해석법의 원리에 의해, 즉 실측치와 예측치의 제곱의 합이 최소화하도록 Basic 언어로 program을 작성하여 용질과 수분의 이동에 따른 확산 계수를 결정하였다.

$$\frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} = 4 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{R_n^2} \exp\left[-\left[D_a \frac{t}{L^2}\right] R_n^2\right] \quad (3)$$

여기서, M_t : 시간 t에서의 수분함량(%)

M_0 : 초기수분함량(%)

M_e : 평형수분함량(%)

R_n : Bessel함수의 제곱근(order zero)

D_a : 겉보기확산계수(mm²/hr)

L : 직경의 반(mm)

t : 시간(sec)

또한 확산계수에 미치는 온도의 영향은 Arrhenius equation에 적용하여 온도의 영향과 activation energy를 구할 수 있다⁽¹⁵⁾.

기존 모델과의 적합도

채소류 건조에 적합한 기존의 건조모델을 얻고자 기존의 여러 모델 중에서 많이 이용되는 유사지수함수 모델인 식 (4)⁽²⁴⁾, Page 모델의 식 (5)⁽²⁵⁾ 그리고 quadratic 모델, 식 (6)⁽²⁶⁾을 선정하여 적합시켜 보았다.

$$\text{유사지수함수 모델} : MR = n (\exp(-kt)) \quad (4)$$

$$\text{Page 모델} : MR = \exp(-kt^n) \quad (5)$$

$$\text{Quadratic 모델} : MR = 1 + At + Bt^2 \quad (6)$$

여기서, MR : 수분함량비, (M-Me)/(Mo-Me)

k, n, A, B : 실험상수

결과 및 고찰

열풍건조시 건조특성

전처리로서 삼투건조공정을 행하여 최적조건으로 수립한 침지온도 76°C, 당의 농도 46°Brix에서 16분간 침지⁽²⁷⁾한 당근을 온도와 상대습도를 공정변수로 하여 열풍건조를 행한 결과를 Table 1에 나타내었다.

박 등⁽²⁸⁾의 보고에 의하면 당근의 열풍건조시 세절한 두께에 따라 60°C의 온도에서 건조시간이 4시간 30분에서 5시간이 소요되었으나 본 연구에 있어서는 건조 전 삼투처리로 인한 용질의 증가로 평형수분함량에 도달하는데 많은 시간이 요구되므로 수분함량의 변화가 거의 없어지는 시간인 7시간 건조 후를 건조 종점으로 하였다. 건조시간이 길게 나타나는 이유는 당근 내부로의 당의 확산과 표면의 당의 코팅에 의하여 건조에 방해를 받는 것으로 생각된다⁽²⁹⁾. 70°C, 20%의 상대습도에서 수분함량은 0.0542(d.b.)로서 건조온도의 증가에 따라, 상대습도가 낮을수록 수분함량은 낮은 값을 보이는 일반적인 건조 경향을 보였다. Carotene 함량도 수분함량과 유사하게 고온과 낮은 상대습도에서 낮은

Table 1. Experimental data for physical properties of air dried osmotically pre-treated carrots

Temp. (°C)	R.H. (%)	M.C. ¹⁾ (d.b.)	C.C. ²⁾	B.D. ³⁾	S.V. ⁴⁾	L	a	b	ΔE
50	20	0.2975	274.68	0.071	2.8315	60.39	24.28	45.52	3.52
50	30	0.3783	313.02	0.069	2.7160	59.54	27.55	40.75	7.48
50	40	0.6489	460.87	0.058	2.5454	58.42	25.52	37.48	9.37
60	20	0.1418	112.53	0.084	3.1397	57.86	34.40	43.49	10.35
60	30	0.1935	144.46	0.087	3.1226	58.07	25.50	36.92	9.87
60	40	0.3630	218.23	0.077	2.9889	57.89	28.21	44.82	5.08
70	20	0.0542	68.42	0.115	4.9124	54.95	29.69	42.92	7.47
70	30	0.1115	96.21	0.099	4.8620	50.51	28.21	39.07	10.98
70	40	0.3515	128.89	0.087	4.2960	53.43	27.25	40.26	8.15

¹⁾M.C.: Moisture content²⁾C.C.: Carotene content (μg/g dry solid)³⁾B.D.: Browning degree (OD)⁴⁾S.V.: Specific volumeTable 2. Experimental data of physical properties in rehydrated¹⁾ carrots after air drying osmotically pre-treated

Temp. (°C)	R.H. (%)	R.R. ²⁾	M.G. ³⁾	MGrate ⁴⁾	C.C. ⁵⁾	L	a	b	ΔE
50	20	2.1163	1.4484	0.4580	118.27	55.25	11.71	44.11	10.17
50	30	2.0425	1.4369	0.4544	120.52	51.55	18.95	41.88	8.52
50	40	2.0119	1.6684	0.5276	123.58	51.17	21.49	39.83	9.14
60	20	2.4533	1.5320	0.4845	91.71	49.20	25.53	42.68	8.98
60	30	2.3399	1.6060	0.5079	108.87	51.98	21.95	45.99	5.33
60	40	2.2843	1.7504	0.5535	113.37	47.87	19.86	42.73	10.58
70	20	3.7486	2.8191	0.8915	68.87	46.32	19.12	42.44	12.29
70	30	3.0295	2.1395	0.6766	72.51	50.40	18.67	42.71	9.06
70	40	2.5552	2.1019	0.6647	91.92	50.79	15.66	39.64	12.17

¹⁾The temperature and time of rehydration processing were 100°C and 10 min, respectively²⁾R.R.: Rehydration ratio³⁾M.G.: Moisture gain (g water/g solid)⁴⁾MGrate: Moisture gain rate by Becker's equation⁵⁾C.C.: Carotene content (μg/g solid)

값을 보였으며 상대습도보다는 온도에 의한 영향이 더 크게 나타나 70°C에서는 아주 낮은 값을 보였다. 일반적으로 천일 전조보다는 열풍전조가 우수한 전조방법이지만 DellaMonica 등⁽³⁰⁾의 보고에 의하면 carotene의 함량은 열풍전조가 가장 낮았고 그 다음이 extrusion puffing, 동결전조가 가장 높았으며 조리후에도 그 특성이 그대로 유지되었다고 보고하였다.

갈변도나 specific volume 등은 고온과 낮은 상대습도의 조건에서 각각 높은 값을 보여 전조물의 색이나 수축정도가 심함을 알 수 있었고 L 값은 전조온도가 높을수록 낮은 값을 보여 어두운 색으로 변색됨을 알 수 있으며 전반적 색차 또한 전조온도가 높아짐에 따라 높은 값을 보여 갈변정도와 유사한 경향을 보였는데 이는 황 등⁽³¹⁾의 보고와 유사하였다.

전조 당근의 재수화 특성을 알아보고자 열풍전조

후 100°C에서 10분간 재수화한 후의 품질특성을 Table 2에 나타내었다. 재수화 특성도 고온과 낮은 상대습도에서 전조한 것이 대체적으로 복원률과 재수화성이 높게 나타났으며, rehydration ratio는 낮은 온도인 50°C와 60°C에서는 상대습도에 따라 큰 차이를 보이지는 않았지만, 70°C의 온도에서는 상대습도의 영향이 크게 나타났다. 흡수량(M.G.)이나 Becker 식을 이용한 재수화시의 흡수속도상수 또한 유사한 경향으로 이것은 열풍전조시 일정 전조온도인 70°C의 온도에서 전조가 활발히 이루어지며 재수화성이 우수함을 보여준다고 할 수 있다. 그러나 황 등⁽³¹⁾은 낮은 온도에서 전조한 것이 더 높은 복원율을 보인다고 하였는데 이는 전처리의 영향과 본 실험에서의 온도의 차이가 크지 않기 때문으로 생각되어진다. Carotene 함량도 고온과 낮은 상대습도에서 전조한 당근이 재수화 후

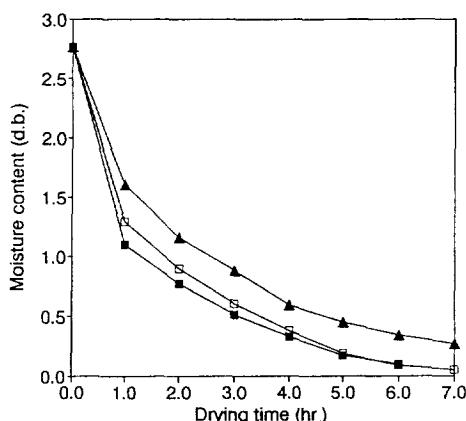


Fig. 1. Drying curves of moisture content at various relative humidities at 70°C ■—■, 20% R.H.; □—□, 30% R.H.; ▲—▲, 40% R.H.

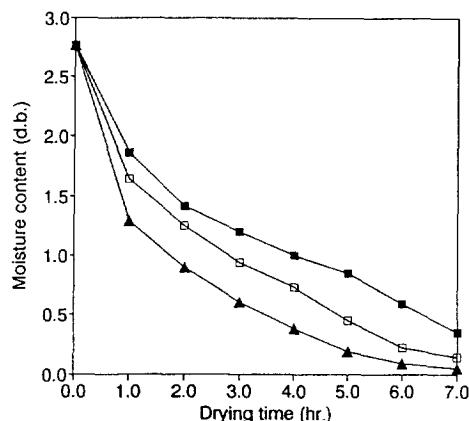


Fig. 2. Drying curves of moisture content at various temperatures with 20% RH ■—■, 50°C; □—□, 60°C; ▲—▲, 70°C

에도 낮은 함량을 보였으며, L 값 또한 고온과 낮은 상대습도의 건조조건일수록 변색이 심하였는데 재수화 후에도 그대로 지속되었고, 전반적인 색차 또한 건조 특성이 재수화시에도 유사한 경향으로 나타남을 알 수 있었다. 본 연구에서는 건조가 많이 이루어질수록 더 높은 재수화성을 보였다. Neumann⁽¹²⁾은 건조효율이나 건조특성치는 전처리를 하지 않을수록 증가하였으나 재수화에 있어서는 삼투처리가 많이 진행될수록 재수화성이 우수하였다며, 재수화시 온도가 높을수록 재수화성이 증대하였다고 보고하였다.

건조시간에 따른 수분함량의 변화를 알아보기 위하여 70°C에서의 변화를 Fig. 1에 나타내었는데 20%, 30%의 상대습도에서는 건조 5시간 후부터는 수분함량이 차이가 거의 없었으나 40%에서는 수분함량의 감소로 보아 건조가 전반적으로 다소 늦음을 알 수 있었다. Fig. 2에서는 상대습도 20%에서 각 온도에 따른 수분 함량의 변화를 본 것으로 50°C와 60°C보다는 70°C에서의 건조가 현저하게 빨리 일어남을 알 수 있었다. Fig. 1 및 2에서 본 결과 열풍건조시 상대습도보다는 건조온도의 영향이 크다는 것을 알 수 있는데, 즉 고온(70°C)에서의 건조가 낮은 온도에서의 건조보다 효율적이며, 또한 상대습도를 낮추는 것보다 건조 온도를 높이는 것이 더 효과적인 건조방법임을 보여 준다고 할 수 있다.

열풍건조시 물질이동 특성

열풍건조 공정동안 당근의 수분이동을 확산에 의한 것으로 보고 각 온도와 상대습도에서의 확산계수를 구하였다. Fick의 제2법칙으로부터 얻어진 식을 이용

Table 3. Calculated diffusion coefficient in carrot during hot air drying

Temp. (°C)	R.H. (%)	Da (mm ² /hr)
50	20	0.070
	30	0.047
	40	0.040
60	20	0.127
	30	0.125
	40	0.098
70	20	0.152
	30	0.145
	40	0.113

하여 구한 확산계수를 Table 3에 나타내었다. 50°C의 온도에서는 고온에 비해 작은 값을 보였고 30%와 40%의 상대습도에서 유사한 정도의 값을 보인 반면, 60°C와 70°C에서는 20%와 30%의 조건에서 비슷한 확산계수를 가졌다. 따라서 50°C에서는 20%의 상대습도에서 효율적인 수분이동이 이루어지고 60°C와 70°C에서는 30%의 상대습도가 효율적인 건조조건임을 알 수 있었다.

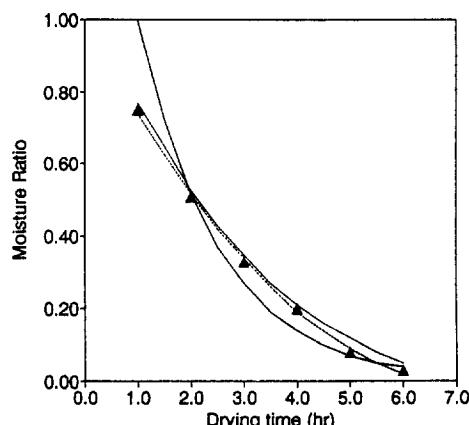
한편, 확산계수의 온도의존성을 알아보기 위하여 Arrhenius식에 적합시켜 본 결과 낮은 결정계수 값을 가져 온도의 영향을 Arrhenius식으로 나타내기에는 미흡한 것으로 나타났다.

기준모델과의 적합도

열풍건조공정 중 수분의 이동을 시간의 함수로 표현하기 위해 적합한 모델을 찾고자 기존의 여러 건조

Table 4. Results of regression analysis and coefficients of determination for different models of carrots in hot air drying

Temp. (°C)	R.H. (%)	Model 1 ¹⁾			Model 2 ²⁾			Model 3 ³⁾	
		R ²	k	n	R ²	n	k	R ²	A
50	20	0.9253	0.2248	1.3878	0.9647	1.2808	0.3702	0.9966	-0.2030
50	30	0.9100	0.5947	1.6837	0.9728	1.5038	0.2707	0.9998	-0.2252
50	40	0.9016	0.3893	1.5872	0.9763	1.3290	0.3039	0.9990	-0.2477
60	20	0.9156	0.5152	1.7262	0.9699	1.3194	0.2838	0.9996	-0.2507
60	30	0.9222	0.6205	2.2054	0.9758	0.9633	0.2664	0.9990	-0.3624
60	40	0.9182	0.6505	2.1813	0.9737	1.0186	0.2634	0.9992	-0.3451
70	20	0.9441	0.6552	1.9248	0.9871	1.3290	0.2507	0.9999	-0.2792
70	30	0.9494	0.4235	1.8857	0.9828	1.0005	0.2944	0.9995	-0.3309
70	40	0.9067	0.7853	2.0784	0.9690	1.0522	0.2862	0.9988	-0.3070

¹⁾Eq. (4): $MR = n \exp(-kt)$ Approximation of diffusion model²⁾Eq. (5): $MR = \exp(-kt^n)$ Page model³⁾Eq. (6): $MR = 1 + At + Bt^2$ Quadratic model**Fig. 3. Comparison of experimental and predicted values for different models during hot air drying at 70°C and 20% RH ▲, EXP.; —, MODEL 1; -·-, MODEL 2; ···, MODEL 3**

모델 중 유사지수함수 모델, Page 모델, 그리고 quadratic 모델을 선정하여 각 조건에서의 R_s 와 계수값을 구해서 그 결과를 나타내었다.

열풍건조시 수분의 이동 메카니즘을 시간에 대한 함수로 적절하게 표현하기 위하여 건조 초기부터 7시간 건조후의 수분함량을 수분함량비로 환산하여 회귀분석을 실시해서 얻은 각 모델의 계수값을 Table 4에 나타내었다. 이 등⁽³³⁾의 보고에 의하면, 고추의 경우 Page모델이 가장 적합하다고 하였으나 본 실험에서는 quadratic model이 가장 적합함을 알 수 있었으며 유사지수함수 모델 보다는 Page 모델이 더 높은 적합도를

보이고 있음을 알 수 있었다. 따라서 주어진 공정조건에서의 계수값을 각 모델식에 사용하여 열풍건조시의 수분함량을 예측할 수 있으리라 생각된다.

Fig. 3은 70°C, 20% RH의 열풍건조 조건에서의 실험값과 각 모델의 예측값을 나타낸 것으로 model 3인 quadratic 모델이 실험치와 거의 일치함을 보이고 있으며 그 다음으로 model 2인 Page 모델이 model 1보다 높은 적합도를 보이고 있음을 알 수 있다.

건조시간의 영향

삼투건조로 전처리한 당근의 열풍 건조시 최적 조건으로 얻어진 온도 69°C, 상대습도 33%의 조건⁽²⁸⁾에서 건조시간에 따른 수분함량과 carotene 함량의 변화를 알아보고자 2시간마다 수분과 carotene 함량 변화를 조사하여 건조시간에 따른 변화를 기준의 모델로서 예측하고자 하였다. Table 5는 수분함량과 carotene 함량 변화를 시간을 변수로 하여 모델화한 것으로서 수분함량의 변화는 quadratic 모델과 polynomial 모형으로 적합시키고, carotene의 함량 변화는 1차 반응 속도식과 polynomial 모형으로 표현할 경우의 적합도를 나타낸 것으로 각 모델 모두 높은 적합도를 보이고 있어 건조시 시간에 따른 수분과 carotene의 변화량은 위 모델로 예측이 가능하다고 볼 수 있다. 그 중에서도 polynomial 형태의 모형이 적합도가 높으므로 Fig. 4에 실측치와 polynomial 모델에 의한 예측치를 나타내었는데 거의 일치함을 보여 건조시간에 따른 수분과 carotene의 함량 변화는 polynomial 모델로 예측이 가능함을 보여 주었다.

풍속의 영향

풍속에 따른 건조특성을 알아보기 위해 열풍건조시 최적조건으로 얻어진 건조온도 69°C, 상대습도 33%의 조건에서 풍속을 0.5 m/s에서 3.67 m/s까지 변화하면서 7시간 건조시킨 후의 물리적 특성을 알아보았다. Table 6에서 보는 바와 같이 풍속이 증가함에 따라 수분함량은 낮아지는 경향이었으나 1.2 m/s 이상의 풍속에서는 그 차이가 크지 않았으며, carotene 함량도 유사한 경향으로 이 두가지의 반응변수로 보면 풍속은 1.2 m/s가 가장 효율적으로 나타났다. 반면 갈변도는 최고 풍속인 3.67 m/s에서 크게 증가하였고 색도는 건

조가 심할수록 L 값은 낮아져 검게 변색됨을 알 수 있고 전반적인 색차도 증가하였으며 specific volume 또한 풍속에 따라 증가하여 건조가 많이 이루어졌음을 알 수 있었다.

풍속에 따른 열풍건조 후의 재수화 특성을 보고자 100°C에서 10분간 재수화시킨 후의 물리적 특성을

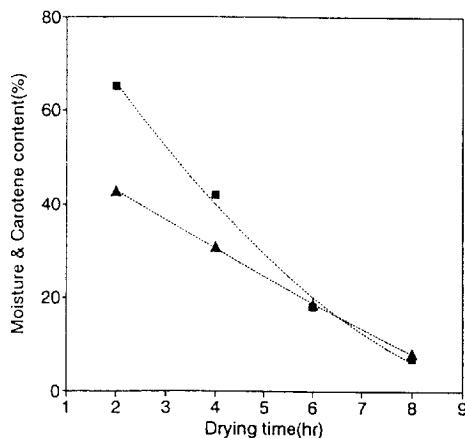


Fig. 4. Comparison of experimental and predicted values for moisture and carotene content depending on hot air drying time at 69°C, 33% RH ■, MC (Exp.); ▲, CA (Exp.); ..., MC (Pred.); ..., CA (Pred.)

Table 5. Coefficient values and R-squares in the prediction model of mass transfer depending on hot air drying time

	Moisture		Carotene	
	Quadratic ¹⁾	Polynomial ²⁾	Quadratic ³⁾	Polynomial ⁴⁾
R ²	0.9971	0.9956	0.9601	0.9997
a	-0.1450	-17.3400	4.4300	-6.8760
b	0.0021	0.7390	-0.2760	0.1030
c	--	97.5400	--	56.3800

¹⁾MR=1+at+bt²

²⁾M.C.=c+at+bt²

³⁾Ln (C.C.)=a+bt

⁴⁾C.C.=c+at+bt²

Table 6. Physical properties in air dried osmotically pre-treated carrots for various air velocities under the air condition of 69°C and 33%

Air velocity (m/s)	M.C. ¹⁾ (d.b.)	C.C. ²⁾	B.D. ³⁾	S.V. ⁴⁾	L	a	b	ΔE
0.5	0.1160	281.50	0.058	3.5039	53.69	25.81	39.18	9.99
1.2	0.0489	141.15	0.061	3.6430	52.97	26.66	33.72	13.81
1.7	0.0446	133.39	0.065	3.7736	52.02	28.55	37.68	11.36
2.55	0.0391	123.79	0.066	4.0124	51.53	36.06	40.40	15.03
3.67	0.0356	118.43	0.104	4.5366	45.63	34.89	37.18	18.64

¹⁾M.C.: Moisture content

²⁾C.C.: Carotene content (μg/g dry solid)

³⁾B.D.: Browning degree (OD)

⁴⁾S.V.: Specific volume

Table 7. Physical properties in rehydrated¹⁾ carrots which were dried at various air velocities under the air condition of 69°C and 33%

Air velocity (m/s)	R.R. ²⁾	M.G. ³⁾	MGrate ⁴⁾	C.C. ⁵⁾	L	a	b	ΔE
0.5	3.4123	2.6920	0.8513	87.42	58.31	28.29	45.30	5.10
1.2	3.7253	2.8585	0.9039	83.95	53.25	22.78	45.24	4.08
1.7	3.8723	3.0004	0.9488	69.65	49.93	26.33	41.82	8.99
2.55	3.9887	3.1055	0.9820	64.54	54.92	29.72	45.60	6.64
3.67	4.3701	3.4900	1.1036	59.23	50.58	24.00	47.11	6.52

¹⁾The temperature and time of rehydration processing were 100°C and 10 min, respectively

²⁾R.R.: Rehydration ratio

³⁾M.G.: Moisture gain (g water/g solid)

⁴⁾MGrate: Moisture gain rate by Becker's equation

⁵⁾C.C.: Carotene content (μg/g solid)

Table 8. Results of regression analysis and coefficients of determination for different models of carrots in hot air drying using various air velocity

Air velocity (m/s)	Model 1 ¹⁾			Model 2 ²⁾			Model 3 ³⁾		
	R ²	k	n	R ²	n	k	R ²	A	B
0.5	0.9954	0.2665	1.7217	0.9990	1.0808	0.2913	1.0000	-0.3264	0.0285
1.2	0.9741	0.5318	2.1364	0.9835	0.9362	0.2722	0.9994	-0.3581	0.0326
1.7	0.9226	1.1801	2.8137	0.9803	1.0504	0.2326	0.9999	-0.3543	0.0315
2.55	0.9942	0.4417	2.2249	0.9997	0.8502	0.2575	0.9998	-0.4136	0.0443
3.67	0.9807	0.6049	2.3778	0.9966	0.8335	0.2636	0.9999	-0.4041	0.0419

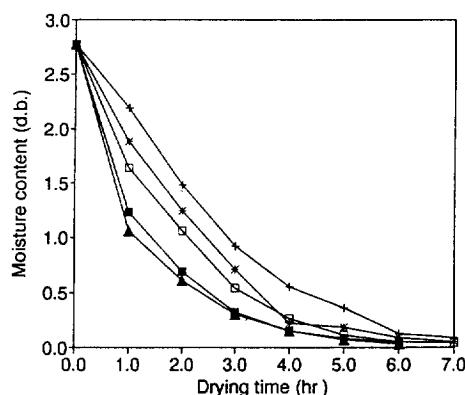
¹⁾Eq. (4): $MR = n \exp(-kt)$ Approximation of diffusion model²⁾Eq. (5): $MR = \exp(-kt^n)$ Page model³⁾Eq. (6): $MR = 1 + At + Bt^2$ Quadratic model**Fig. 5. Changes of moisture content at various air velocity during hot air drying in carrots** +—+, 0.5 m/s; *—*, 1.2 m/s; □—□, 1.7 m/s; ■—■, 2.5 m/s; ▲—▲, 3.7 m/s

Table 7에 나타내었다. Rehydration ratio나 흡수량 (moisture gain), Becker 식에 의한 흡수속도상수 등의 재수화 특성값은 빠른 풍속(3.67 m/s)에서 건조한 당근이 우수한 것으로 나타났다. 그 정도는 풍속의 세기와 비례하였으며, carotene 함량이나 전반적인 색차도 건조 후의 특성이 그대로 유지되었다. Mazza⁽³⁾의 보고에 의하면 재수화 효율은 삼투건조시 당의 농도가 낮을수록 그 효율이 크다고 하였는데 이는 열풍건조에 있어서 풍속이 일정할 경우 낮은 농도에서의 삼투처리로 유사한 효과를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

건조시간에 따른 수분함량의 변화를 Fig. 5에 풍속을 달리하여 나타내었다. 풍속에 따른 건조양상은 비슷한 형태를 보였으며 0.5 m/s의 풍속에서는 6시간 이후 수분의 감소율이 적었으나 1.2 m/s 이상의 풍속에서는 건조 4시간 후부터 수분의 감소율이 둔화되었고 2.55 m/s와 3.67 m/s는 거의 유사한 건조형태를 보였다. 이상의 결과로 보아 건조효율과 재수화 특성을 고려하면 적절한 풍속은 1.2 m/s로 결정할 수 있을것으

로 생각된다.

풍속을 각기 달리 했을 경우, 기존 모델과의 적합도를 살펴보면 Table 8에서 보는 것과 같이 풍속에 관계없이 세가지 모델 모두 아주 높은 적합도를 보였지만 MODEL 3이 가장 높은 적합도를 보여 건조시 수분의 이동을 예측할 수 있을것으로 생각된다. 실측치와 예측치를 비교해 보면 MODEL 3인 quadratic 모델이 거의 일치함을 보이며 그 다음으로 MODEL 2인 Page 모델이 높은 적합성을 보이고 있으므로 이 두개의 모델로 건조과정을 표현할 수 있을 것으로 생각된다.

요약

삼투처리로 전처리한 당근의 건조특성을 알기 위해 건조와 재수화 공정을 행하여 물리적인 특성을 조사하고, 수분이동 메카니즘을 규명하기 위해 확산 방정식과 건조 모델을 적용하여 알아보자 하였다. 열풍 건조시 건조특성은 고온과 낮은 상대습도의 조건에서 건조효율이 우수하였으며, 갈변도나 specific volume 등도 높은 값을 보였으며 전반적 색차 또한 큰 값을 보여 갈변정도와 유사한 경향을 보였다. 재수화 특성도 고온과 낮은 상대습도에서 건조한 것이 대체적으로 복원률과 재수화성이 높게 나타나 건조 특성이 재수화시에도 유사한 경향으로 나타남을 알 수 있었다. 수분의 이동을 나타내는 확산계수는 고온과 낮은 상대습도에서 높은 확산계수를 가졌으며, 온도의 영향이 상대습도보다 크게 나타나 상대습도를 낮추는 것 보다 건조온도를 높이는 것이 더 효과적인 운용방법임을 알 수 있었다. 건조과정을 기존의 건조모델로 표현하고자 적합성 여부를 조사해 본 결과 건조조건에 관계없이 quadratic model이 가장 높은 적합도를 보여 이 모델로서 건조시 수분함량의 감소를 시간의 함수로 나타낼 수 있었다. 건조시간과 풍속을 변화시키면서 실험을 행한 결과 시간에 따른 carotene 함량과 수

분함량은 polynomial 형태로 모델화 할 수 있었고 풍속이 강할수록 평형수분함량 도달 시간은 빨라졌으나 1.2 m/s 이상의 풍속에서는 그 차이가 크지 않았으며, carotene 함량도 유사한 경향이었다. 재수화 특성값도 빠른 풍속에서 건조한 당근일수록 우수한 것으로 나타났으며, carotene 함량이나 전반적인 색차도 건조 후의 특성이 그대로 유지되었다. 기존모델과의 적합도를 살펴보면 풍속에 관계없이 quadratic model이 가장 높은 적합도를 보여 건조시 수분의 이동을 예측할 수 있을 것으로 생각된다.

문 헌

- Glenn, D.C.: *Foods and Food Production Encyclopedia*. Van Nostrand Reinold Co., p.340 (1982)
- Desrosier, N.W.: *Technology of Food Preservation*. 4th ed., AVI Publishing Co., p.110 (1976)
- Mazza, G.: Dehydration of carrots. Effects of predrying treatments on moisture transport and product quality. *J. Food Technol.*, **18**, 113 (1983)
- Nury, S.F., Bolin, H.R. and Brekke, J.E.: Rapid hydration of dried fruits. *Food Technol.*, **17**(3), 334 (1963)
- Baloch, A.K., Buckle, K.A. and Edwards, R. A.: Effect of processing variables on the quality of dehydrated carrot. *J. Food Technol.*, **12**, 285 (1977)
- Ponting, J.D., Watters, G.G., Ferry, R.R., Jacson, R. and Stanley, W.L.: Osmotic dehydration of fruits. *Food Technol.*, **20**(10), 1365 (1966)
- 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**(7), 60 (1976)
- Hawkes, J. and Flink, J.M.: Osmotic concentration of fruit slices prior to freeze dehydration. *J. Food Process. Preserve.*, **2**, 265 (1978)
- Angela, P.P. Yang, Carolyn, W. and Tom, P.P. Yang : Use of combination process of osmotic dehydration and freeze drying to produce a rasin-type lowbush blueberry product. *J. Food Sci.*, **52**, 1651 (1987)
- Lazarides, H.N., Nickolaidis, A. and Katsanidis, E.: Sorption changes induced by osmotic preconcentration of apple slices in different osmotic media. *J. Food Sci.*, **60**, 348 (1995)
- 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)
- Lenart, A. and Flink, M.: Osmotic concentration of potatoes. Criteria for the end-point of the osmosis process. *J. Food Technol.*, **19**, 45 (1984)
- Rice, P. and Selman, J.D.: Apparent diffusivities of ascorbic acid in peas during water blanching. *J. Food Technol.*, **19**, 121 (1984)
- 정순경, 금동혁, 이동선 : 건조효율 향상을 위한 고추건조공정의 최적화. *한국식품과학회지*, **24**, 428 (1992)
- Labuza, T.P. and Riboh, D.: Theory and application of Arrhenius kinetics to the prediction of nutrient losses. *Food Technol.*, **36**(10), 66 (1982)
- Luh, B.S. and Woodroof, J.G.: *Commercial Vegetable Processing*. 2nd ed., AVI Publishing Co., p.414 (1988)
- McIlrath, W.J., Pires, E.G. and Dekazos, E.D : Correlation of percentage dry matter in leaves with their capacity to rehydrate. *Food Technol.*, **18**(12), 137 (1964)
- Horn, G.R. and Sterling, C.: Studies on the rehydration of carrots. *J. Sci. Food Agric.*, **33**, 1035 (1982)
- Neubert, A.M., Wilson, C.W. and Miller, W.H.: Studies on celery rehydration. *Food Technol.*, **22**, 94 (1968)
- A. O. A. C.: *Official Method of Analysis*. 15th ed., Association of Official Analytical Chemists Inc., p.1048 (1990)
- Hendel, C.E., Bailey, G.F. and Taylor, D.H.: Measurement of non-enzymatic browning of dehydrated vegetable during storage. *Food Technol.*, **14**(4), 344 (1950)
- Becker, H.A.: On the absorption of liquid water by the wheat kernel. *Cereal Chem.*, **37**, 309 (1960)
- 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)
- Chen, C.S. and Johnson, W.H.: Kinetics of moisture movement in hygroscopic materials. (I. Theoretical considerations of drying phenomena) *Trans. of ASAE*, **12**, 109 (1969)
- Manjeet, S.C.: Evaluation of selected mathematical models for describing thin layer drying of In-Shell Pecans. *Trans. of ASAE*, **33**, 610 (1990)
- Wang, C.Y. and Singh, B.P.: A single layer drying equation for rough rice. ASAE paper No. 78-3001 (1978)
- 윤광섭 : 반응표면분석법을 이용한 당근의 삼투 및 열풍 건조공정의 최적화. 경북대학교 박사학위논문 (1995)
- 박남규, 송정춘, 조광동, 윤인화 : 채소류 건조방법 개선 연구. 농시논문집, **31**, 18 (1989)
- 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)
- DellaMonica, E.S. and McDowell, P.E.: Comparison of beta carotene content of dried carrots prepared by three dehydration processes. *Food Technol.*, **19**, 1597 (1965)
- 황금택, 임종환 : 각종 전처리 및 건조방법이 건조 채소류의 품질에 미치는 영향. *한국식품과학회지*, **26**, 805 (1994)
- Neumann, H.J.: Dehydrated celery 'Effects of predrying treatments and procedures on reconstitution'. *J. Food Technol.*, **37**, 437 (1972)
- 이원경, 고학균, 노상하, 조용진 : 고추의 건조모델에 관한 연구. 서울대 농학연구지, **13**, 59 (1988)