

사과의 삼투건조시 물질이동 특성

윤광섭 · 최용희[†]

경북대학교 식품공학과

Mass Transfer Characteristics during the Osmotic Dehydration Process of Apples

Kwang-Sup Youn and Yong-Hee Choi[†]

Dept. of Food Science and Technology, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea

Abstract

In order to minimize the deterioration of osmotic dried apple quality, the characteristics of mass transfer during osmotic dehydration such as solid gain(SG), weight reduction(WR) and moisture loss(ML) were investigated. Moisture and solid transfer were analyzed by Fick's law. The highest ΔE value was observed with severe browning at 60°C. The concentration effect on ΔE were higher at high temperatures than at low temperatures. SG, WR and ML increased as immersion temperature, sugar concentration and immersion time increased. Higher concentration of sucrose led to more sucrose absorption resulting increase in SG. Diffusion coefficients of moisture increased with immersion temperature and sugar concentration. As concentration increased, diffusion coefficients of solids increased at 20°C, while it decreased at 40°C and 60°C. Arrhenius equation was appropriately explain the effect of temperature on diffusion coefficients. Moisture and solid diffusion showed high activation energy in 20 °Brix solution, compared with in 40 and 60 °Brix.

Key words: osmotic dehydration, mass transfer, diffusion coefficient, apple

서 론

과실류는 일반적으로 열량이 적지만 비타민이 풍부한 급원으로서의 의의가 매우 크며 또한 단맛과 신맛 그리고 향기가 있어 기호성 식품으로서 예전에는 주로 생식용으로 이용되어 왔으나, 최근에는 국민경제의 향상과 더불어 과실가공업도 점차 활발해지고 있으며 앞으로 문화의 발달 및 국민 식생활의 개선으로 과실가공업이 더욱 발전할 것으로 보인다(1).

사과는 대구, 경북지방의 주요 특산물로 1994년도 생산량이 617,000M/T이며 가공 실적은 159,800M/T으로 약 26% 정도 가공되고 있으며(2) 대부분이 생식용으로 소비되고 있다. 사과의 가공은 각종 음료와 양조의 원료로 이용되며 잼, 건과, 분말, 통조림 등의 가공품과 일부 약품에도 이용되고 있으며, 상당한 열량이 있어 보조식량으로도 이용이 가능하다. 사과의 건조는 외국의 경우 미국, 오스트레일리아, 캐나다 등지에서 많은 연구가 진행되어 건조 식품으로 이용되고 있으나

우리나라에서는 거의 연구되지 않았다. 사과에 대한 연구는 국내에서는 주로 가공과 저장에 대한 것이 많으며 건조특성에 관한 연구는 정(3)이 사과의 건조 조건에 따른 건조특성에 대해서 보고하였을 뿐 건조에 대한 연구가 이루어지고 있지 않다.

일반적인 열풍건조에 의하여 과일의 건조시에는 많은 영양성분의 손실과 아울러 열풍에 의한 외관과 색도가 저하되어 상품으로서의 가치가 하락한다. 따라서 삼투건조라는 전처리를 행하여 건조를 행함으로써 품질손상을 억제하고 삼투처리에 의한 단맛에 증가로 기호성의 증대 등 고품질의 건조사과를 제조할 수 있다.

Ponting 등(4)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 증가시킬 수 있는 장점이 있다.

삼투 건조에 관한 연구로는 먼저 진공건조와 동결 건조 전처리로서 삼투건조를 행하여 품질을 개선한 보

[†]To whom all correspondence should be addressed

고가 있으며(5,6), Lerici 등(7)은 용매를 달리했을 때 과일에 있어서 삼투건조한 결과를 보고하였으며 Farkas 와 Lazar(8)는 사과의 삼투건조시 온도와 시험농축 비율의 효과를 보고하였다. 삼투건조시 물질이동특성을 설명하기 위하여 Conway 등(9)은 수분 손실과 무게 감소율을 확산식으로 평가하였다. 시료의 기하학적 형태에 따른 수분의 이동을 확산계수로서 나타낸 것으로는 Surez 등(8)의 연구가 있고, 일반적으로 Becker(11)는 확산계수를 시간의 함수로 나타내게 되면 속도상수가 시간의 평방근에 비례한다고 보고하였다. 이와 유사한 연구로서 물질이동 특성을 연구한 것으로는 Vaccarezza와 Chirife(12), Saravacos와 Charm(13)의 과일과 야채의 건조시 수분이동 메카니즘에 대한 연구가 있다.

따라서 본 연구에서는 삼투건조의 여러 가지 가공 변수 중 설탕용액의 농도를 달리하고 침지시간, 침지온도를 달리하여 삼투건조를 행하여 삼투건조시 물질이동 특성을 알아보기 위하여 온도와 농도 시간에 따른 수분의 이동과 용질의 이동을 확산식으로 평가하였으며 삼투건조시 물질이동을 나타내는 Moisture Loss, Weight Reduction, Solid Gain 등을 조사하여 물질이동특성을 알아 보고자 한다.

재료 및 방법

실험재료

실험재료는 1995년산 Fuji품종의 사과로 팔공산에서 구입하여 4°C에서 냉장보관하면서 필요시 마다 4×4×0.3cm의 slab형태로, 무게는 약 6~8g되게 절단하여 사용하였다.

삼투건조

항온수조를 이용하였으며 sucrose를 이용하여 각기 그 농도를 20, 40, 60°Brix로 조성한 후 시료와 용액의 담금비율을 1 : 10(W/V)로 하여 침지온도는 20, 40, 60°C로, 침지시간은 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5시간으로 나누어 연속적으로 침지시킨 후 몇 초간 세척하여 시료 표면에 부착된 sucrose를 제거한 후 여과지를 이용하여 표면수분을 제거하여 분석을 행하였다.

수분함량

진공건조기(OVL-570, Gallen Kamp Co., England)를 이용하여 70°C, 70mmHg에서 24시간 건조시켜 수분 함량으로 결정하였다.

색도변화

색차계(Chromameter, Minolta Co., CR200, Japan)를 사용하여 L값(명도, whiteness), a값(적색도, redness), b값(황색도, yellowness)과 전반적인 색차 ΔE는 처리 전 시료를 기준으로 하여 아래 식으로 나타내었다.

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$

삼투건조시 물질이동특성

삼투건조 중 수분과 용질의 이동은 시료 내부의 용질이 삼투압용액에 대하여 확산작용이 일어나지 않으며 삼투압용액의 농도는 균일하다는 가정하에서 구하였고 삼투건조시 물질이동은 solid gain(SG), weight reduction(WR), moisture loss(ML)로 나타내었다(14).

$$\text{Solid gain(\%)} = \frac{\text{삼투후 고형분(g)} - \text{초기 고형분}}{\text{초기 무게(g)}} \times 100$$

$$\text{Weight raduction(\%)} = \frac{\text{초기 무게(g)} - \text{삼투후 무게(g)}}{\text{초기 무게(g)}} \times 100$$

$$\text{Moisture loss(\%)} = \frac{\text{초기 수분량(g)} - \text{삼투후 수분량(g)}}{\text{초기 수분량(g)}} \times 100$$

확산계수

건조시 물질이동은 비정상 상태에서의 확산방정식, 즉 Fick의 제 2법칙인 확산방정식인 식 1으로 해석할 수 있다(15). Slab형의 경우는 아래와 같은 식을 이용하여 수치해석법의 원리에 의해, 즉 실측치와 예측치 간의 차이의 제곱의 합이 최소화하도록 Basic 언어로 program을 작성하여 삼투건조 동안의 용질과 수분의 이동에 따른 확산 계수를 결정하였다.

$$\frac{C_b - C_t}{C_b - C_o} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \times \text{Exp}[-D_a(2n-1)^2(\pi/2)^2 t/l^2] \quad (1)$$

여기서, C_t: t시간 후의 고형분 함량(%)

C_o: 초기 고형분 함량(%)

C_b: 침지액의 농도(%)

D_a: 겉보기 확산계수(mm²/min.)

l : 두께의 반(mm)

t : 시간(min.)

또한 확산계수에 미치는 온도의 영향은 Arrhenius equation인 식 2에 적용하여 온도의 영향과 activation energy를 구할 수 있다(16).

$$D = D_0 \text{ Exp} \left(-\frac{E_a}{RT} \right) \quad (2)$$

여기서, D_0 : 빈도상수(mm²/min.)

E_a : 활성화에너지(cal/mole)

R : 기체상수(1.987cal/mole K)

T : 절대온도(K)

결과 및 고찰

색도의 변화

삼투건조 후 사과와 색도 변화를 Table 1에 나타내었다. 60°C의 처리에 있어서 농도에 따른 색차의 변화를 Fig. 1에서 살펴 보면 전반적인 색차를 나타내는 ΔE 값은 낮은 농도인 20°Brix에서는 60분 이후에 급격한 값의 증가를 보였으며, 40°Brix와 60°Brix에서는 90분 이후에 급격한 증가를 보여 침지 농도의 증가가 색의 변화를 연장시켜 주는 것을 확인 할 수 있었는데 Ponting 등(4)은 고농도일수록 갈변의 원인이 되는 polyphenol oxidase 효소를 억제하는 효과가 있어 식품의 갈변이 억제된다고 보고하였다. 온도의 영향을 살펴 보면 60°C에서의 삼투처리가 높은 ΔE 값을 보여 많은 변화를 보였으나, 20°C와 40°C의 온도에서는 농도에 관계없이 값의 변화가 크지 않았다. 시간의 영향도 유사한 경향으로 명도를 나타내는 L값과 적색도를 나타내는 a값은 20°Brix에서는 60분 이후에, 고농도인 40, 60°Brix

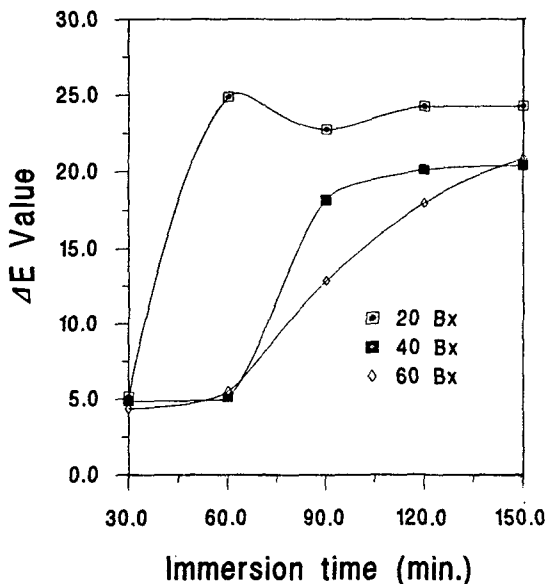


Fig. 1. Changes in ΔE as a function of osmotic concentration and immersion time at 60°C.

에서는 90분이 지난 후에 급격한 감소를 보여 색차의 변화와 유사한 값의 변화를 보여 시간의 경과에 따라 갈변이 심하게 일어남을 확인할 수 있었다.

물질이동 특성

농도의 영향

삼투건조 후 물질이동특성을 나타내는 solid gain(SG), weight reduction(WR), moisture loss(ML), moisture content(MC) 값은 Table 1과 같으며, 각 농도에 따른 물질이동의 특성값의 변화를 알아보았다.

먼저 SG는 저농도 보다 고농도에서 훨씬 높은 값을 가져 삼투건조에 있어서 당의 농도가 증가할수록 흡수가 많아져 SG값이 증가하는 것으로 대부분의 보고와 일치하는 경향이였다. WR값은 SG와 유사한 경향으로 고농도에서 무게감소가 많았고 저농도에서 무게감소가 적게 이루어졌는데 당농도가 높아질수록 삼투효과가 커져 많은 양의 무게감소가 이루어짐을 알 수 있었다. Ponting 등(4)의 보고에 의하면 WR은 120°F(약 40°C)에서 2.5시간에서 3시간의 처리로 약 50%가 이루어진다고 하였으나 본 실험에서는 40°C에서 2.5시간 처리시 약 30%의 WR값을 나타내었고 60°C에서 2.5시간의 경우 40%를 나타내었는데 이는 실험방법과 시료 사이의 차이로 생각된다. ML는 저농도 보다는 고농도에서 빠른 증가가 일어나 건조가 빠르게 진행됨을 알 수 있었으며, 농도와 시간 그리고 온도, 삼투비율, 표면적 증가에 비례한다는 김(17)의 보고와 일치하였고, 이런 경향은 SG와 WR의 변화와 유사한 경향을 보였다. 즉 삼투건조는 고농도에서 높게 나타남을 알 수 있었다. 수분 함량은 저농도에서 수분 함량이 높았고 삼투농도가 높을수록 수분 함량이 점차 낮아져 삼투처리로 건조가 이루어짐을 확인할 수 있었다. 따라서 삼투건조시 당의 농도가 높아질수록 삼투효과가 커짐을 확인할 수 있었다.

온도의 영향

온도의 증가에 따른 용질의 증가, 무게의 감소, 수분의 손실, 수분 함량의 변화를 알아본 결과(Table 1) SG은 저온 보다는 고온에서 높은 값을 보였는데 이는 온도의 증가에 따른 설탕의 확산도 증가로 활발한 흐름이 발생함을 보여 준다고 할 수 있다. 따라서 삼투건조는 저온 보다는 고온에서 많이 이루어진다는 것을 알 수 있다. WR은 고온에서 높은 값을 나타내었고 저온에서 낮은 값을 보여 SG와 유사한 경향을 보였다. Harris(18)의 보고에 의하면 sucrose를 삼투용매로 했을 경우 30~50°C 범위에서는 설탕의 삼투효과 없이도 온도

Table 1. Calculated values for solid gain(SG), weight reduction(WR), moisture loss(ML), moisture content(MC), L, a, b and ΔE of osmotic dehydrated apples

Temp.(°C)	Conc.(Bx)	Time(hr.)	SG(%)	WR(%)	ML(%)	MC(%)	L	a	b	ΔE
20	20	0.5	1.98	6.97	3.92	82.50	74.85	-1.90	28.64	4.78
20	20	1.0	2.04	6.73	3.60	83.29	68.41	-1.87	26.80	8.07
20	20	1.5	2.26	7.67	4.57	82.45	71.14	-3.45	24.15	4.99
20	20	2.0	2.52	6.48	4.21	82.76	69.34	-3.08	25.79	6.63
20	20	2.5	2.88	7.89	4.59	82.43	67.29	-1.79	24.14	9.11
20	40	0.5	5.00	10.75	9.41	78.27	75.09	-6.25	27.89	2.62
20	40	1.0	5.24	14.17	10.17	74.16	66.01	0.93	30.33	12.44
20	40	1.5	5.04	17.61	11.31	73.17	74.35	-5.59	26.44	1.57
20	40	2.0	6.10	17.48	12.52	73.34	75.59	-4.86	23.98	1.56
20	40	2.5	7.73	19.97	15.11	73.34	72.21	-5.39	25.31	3.34
20	60	0.5	10.76	16.42	17.99	70.86	74.83	-3.30	29.62	4.72
20	60	1.0	10.80	21.38	18.66	70.01	73.06	0.00	27.93	6.43
20	60	1.5	10.36	25.95	20.63	68.58	74.22	-0.08	26.98	5.68
20	60	2.0	11.35	25.70	22.13	66.42	74.15	-0.46	26.85	5.31
20	60	2.5	11.28	30.37	21.92	66.72	72.78	-3.37	23.22	4.09
40	20	0.5	3.89	8.11	5.47	81.67	74.42	-2.43	27.16	3.60
40	20	1.0	4.44	9.14	6.63	81.54	73.58	-2.83	27.62	3.89
40	20	1.5	4.26	9.89	6.44	81.70	75.23	-3.50	25.97	1.99
40	20	2.0	4.29	9.68	6.44	81.70	73.27	-3.39	26.98	3.40
40	20	2.5	4.44	8.89	5.95	81.50	74.56	-3.73	27.25	2.64
40	40	0.5	5.65	17.73	11.44	76.52	79.94	-4.34	23.57	4.89
40	40	1.0	5.61	20.28	11.50	73.95	76.17	-2.04	29.75	5.49
40	40	1.5	6.41	21.40	14.73	72.81	81.20	-5.07	24.63	5.72
40	40	2.0	7.50	20.83	15.31	70.76	78.31	-3.84	26.94	3.50
40	40	2.5	9.87	23.25	17.12	67.29	80.13	-3.66	26.59	5.03
40	60	0.5	9.47	25.26	22.01	67.38	78.33	-3.73	29.40	5.11
40	60	1.0	11.39	28.81	23.56	65.24	74.39	-1.56	32.39	8.01
40	60	1.5	12.29	28.45	27.29	64.39	76.36	-1.72	29.96	5.87
40	60	2.0	11.41	29.16	29.43	63.14	78.41	-2.85	29.47	5.55
40	60	2.5	11.00	29.96	29.95	63.41	79.16	-2.72	29.15	5.82
60	20	0.5	4.01	10.28	7.53	80.18	73.14	-3.04	29.38	5.17
60	20	1.0	4.66	11.89	8.97	80.00	53.89	6.57	28.00	24.87
60	20	1.5	4.84	12.56	9.01	81.13	58.76	4.82	23.51	19.75
60	20	2.0	5.19	12.69	9.04	79.79	54.70	6.93	24.41	24.24
60	20	2.5	5.03	14.01	9.89	79.20	54.47	6.19	22.35	24.25
60	40	0.5	6.28	17.19	12.04	74.84	78.34	-4.49	21.53	4.89
60	40	1.0	7.34	21.10	14.57	72.95	73.46	-3.58	26.89	3.12
60	40	1.5	8.40	24.82	15.67	70.73	60.37	4.62	25.13	18.17
60	40	2.0	9.24	25.45	19.72	69.36	58.61	4.82	21.90	20.10
60	40	2.5	10.70	28.41	23.43	66.16	57.92	4.13	21.67	20.39
60	60	0.5	11.21	30.16	24.56	65.09	76.47	-3.92	29.45	4.36
60	60	1.0	11.54	32.26	26.99	64.57	75.80	-3.52	30.64	5.52
60	60	1.5	12.96	32.50	29.79	60.66	65.49	2.52	26.56	12.84
60	60	2.0	12.35	37.77	32.53	58.29	61.07	5.21	24.80	17.96
60	60	2.5	13.96	38.40	36.11	55.20	58.03	5.56	22.63	20.85

의 영향만으로도 무게감소가 많이 일어난다고 하였으나 본 실험에서는 값의 크기로 보아 온도의 영향 보다는 농도의 영향이 더 큰 것으로 나타났으며 이는 윤과 최(19)의 보고와 같았다. 효율적인 삼투건조는 SG과 빠

른 ML를 얻는데 있다고 할 수 있으므로 용질의 증가는 수분손실의 변화 보다 적은 것이 바람직하며 건조효율을 높이기 위해서는 수분제거가 상대적으로 많이 이루어져야 한다고 할 수 있다. ML는 고온에서 수분손실이

많이 일어났고 저온에서는 상대적으로 낮은 수분손실을 보였다. 따라서 저온 보다는 고온에서 많은 수분 손실이 이루어지므로 건조효율이 높다는 것을 알 수 있다. 낮은 농도에서는 온도의 영향이 크지 않지만 고농도에서는 온도의 영향이 크다는 것을 알 수 있었으며, 시간의 증가에 따라 고온으로 갈수록 높은 값을 보였다. 수분 함량은 저온 보다는 고온에서 크게 감소하였는데 온도가 증가할수록 시간의 영향이 점차 증가함을 알 수 있었으며, 다른 물질이동 특성과 같이 온도 보다는 농도의 영향이 더 크게 작용함을 알 수 있었다. 따라서 삼투건조시 물질이동특성은 낮은 온도 보다는 높은 온도에서 더 높은 값을 보여 고온에서의 처리가 삼투효율이 우수함을 보여 주었다.

Fig. 2에서는 60°C의 온도와 60 °Brix에서의 삼투처리시 물질이동 특성을 나타낸 것으로서 SG은 시간의 증가에 따라 큰 증가를 보여주지는 않지만 점차 증가하는 경향을 나타내었으며, ML 또한 시간이 증가함에 따라 지속적인 증가를 보여 시간의 증가에 따라 수분손실이 계속 이루어짐을 알 수 있었다. WR도 ML와 유사한 정도로 시간의 증가에 따라 증가함을 보여 삼투처리에 의하여 무게가 감소됨을 확인 할 수 있었으며 수분 함량도 초기 30분에 많은 감소가 이루어지고 시간의 증가에 따라 건조가 이루어짐을 알 수 있었다.

확산계수

삼투건조시 수분과 용질의 이동을 확산에 의한 현

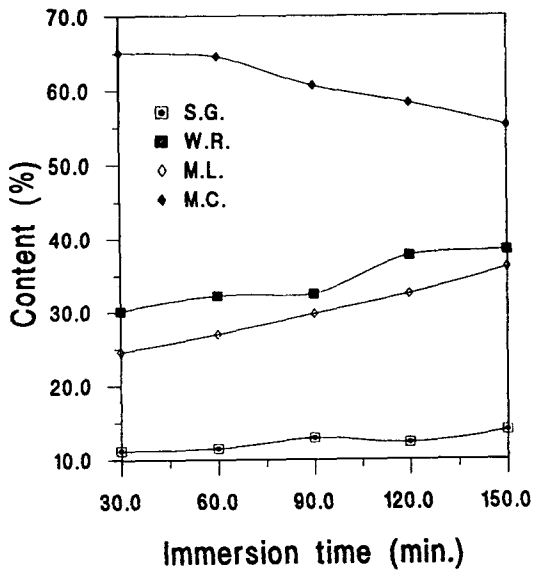


Fig. 2. Mass transfer characteristics for osmotic dehydration of apples under 60°C and 60°Brix.

상이라고 해석하고 Fick의 제 2법칙인 식 1을 적용하여 Basic 언어로 program을 작성하여 확산계수를 구함으로써 건조 전처리로서 삼투건조시의 수분과 용질 이동 mechanism을 구명하고자 하였으며 그 결과를 Table 2와 Fig. 3, 4에 나타내었다.

수분의 이동에 따른 확산계수는 모두 같은 온도, 같은 농도에서 각각 농도나 온도의 증가에 따라 높은 값을 가져 확산이 빠르게 일어남을 알 수 있었다. 그러나 용질 이동의 확산계수는 각 농도에서 온도의 증가에 따라 증가하는 경향을 보였으나 20°C에서는 농도가 증가함에 따라 증가하나 40°C와 60°C에서는 농도 증가에

Table 2. Calculated diffusion coefficients in osmotic dehydration of apples

Temperature (°C)	Concentration (Bx)	Diffusion coefficient ¹⁾	
		Moisture	Solid
20	20	0.000031	0.001001
20	40	0.001501	0.001660
20	60	0.003301	0.002400
40	20	0.000131	0.003400
40	40	0.002201	0.002500
40	60	0.004801	0.002600
60	20	0.000301	0.004300
60	40	0.002601	0.003500
60	60	0.007001	0.003100

¹⁾Diffusion coefficient: mm²/min.

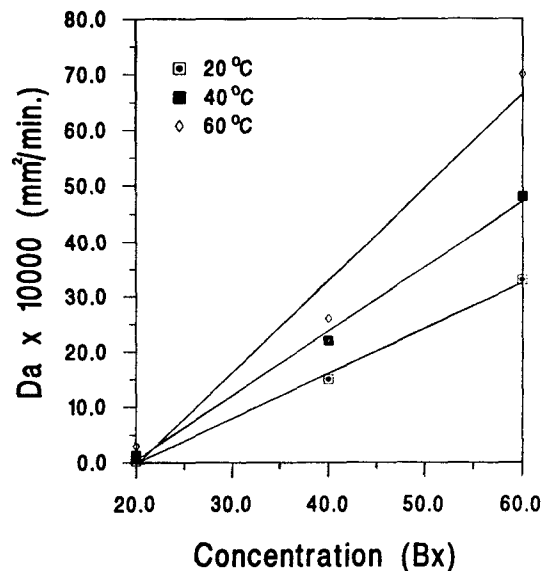


Fig. 3. Effect of concentration on diffusion coefficients of moisture during osmotic dehydration of apples at various temperatures.

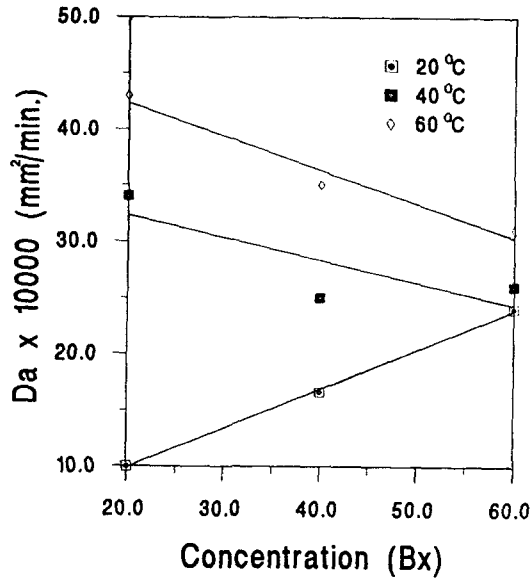


Fig. 4. Effect of concentration and immersion temperature on diffusion coefficients of solid during osmotic dehydration of apples.

따라 감소하는 경향을 보였다. 이와같은 결과는 사과를 삼투처리한 Conway 등(9)의 보고와 banana를 삼투건조한 Maria와 Florencia(20)의 보고와 일치하는 것으로 이들의 결과에서는 농도의 증가시 낮은 확산계수값을 나타내었다. 그러나 coconut을 삼투건조한 Rastogi와 Raghavarao(21)의 보고에 의하면 수분의 확산계수는 온도와 농도의 증가에 따라 높은 확산계수값을 보인다고 보고하였으며 그 값의 차이는 시료의 다공성구조에 기인한다고 보고하였다. 용질의 이동을 나타는 확산계수는 낮은 온도에서는 고농도에서의 확산이 빠르게 이루어지나 40, 60°C에서는 오히려 저농도에서 더 높은 값을 보였지만 전반적으로 고온, 고농도에서 높은 값을 가져 확산이 활발히 일어남을 알 수 있었다.

용질의 확산도와 수분의 확산도를 비교해 보면 모든 온도에서 저농도인 20 °Brix와 40 °Brix에서는 수분의 이동이 용질의 이동 보다 적어 사과로 침투하는 당의 양이 많음을 알 수 있으며, 60 °Brix에서는 수분의 확산

도가 용질의 확산도 보다 높아 건조가 이루어짐을 알 수 있었다.

확산계수에 대한 각 농도에서의 온도의 영향을 알아보기 위하여 Arrhenius 식에 적합시켜서 얻은 R²와 활성화에너지를 Table 3에 나타내었다. R² 값은 비교적 높지만 그 값이 0.9938 보다 적을 때는 5%의 유의수준에서는 유의성이 없다고 할 수 있으므로 수분의 이동에 있어서는 60 °Brix의 농도, 용질의 경우는 40 °Brix의 농도에서만 온도의 영향은 Arrhenius 식에 적합하다고 볼 수 있었다. 활성화에너지(Ea)는 수분과 용질의 확산에 있어서 낮은 농도인 20 °Brix에서는 확산에 많은 에너지가 필요하고 상대적으로 고농도인 40 °Brix와 60 °Brix에서는 낮은 에너지로도 확산이 쉽게 일어남을 알 수 있다.

요 약

삼투건조의 여러 가지 가공변수 중 설탕용액의 농도를 달리하고 침지시간, 침지온도를 달리하여 삼투건조를 행하여 물질이동을 나타내는 Solid Gain(SG), Weight Reduction(WR), Moisture Loss(ML) 등을 조사하여 물질이동특성을 알아 보고자 하였다. 온도와 농도 시간에 따른 수분의 이동과 용질의 이동을 확산식으로 평가하였다. 색차의 변화(ΔE)는 60°C에서만 높은 값을 보여 갈변이 심해짐을 확인할 수 있었으며, 높은 온도에서는 낮은 농도에서 처리가 더 큰 ΔE값을 나타내었고, 낮은 온도에서는 농도에 따라 큰 차이를 나타내지 않았다. SG은 농도가 증가할수록 설탕의 흡수가 많아져 증가하였으며, WR 또한 고농도에서 무게감소가 많이 이루어지고 저농도에서는 낮은 값을 보여 설탕농도가 높아질수록 많은 양의 무게감소가 이루어짐을 알 수 있었다. ML는 저농도 보다는 고농도에서 빠른 증가가 일어나 건조가 빠르게 진행됨을 알 수 있었으며 수분 함량은 삼투농도가 높을수록 수분 함량이 점차 낮아져 삼투처리로 건조가 이루어짐을 확인할 수 있었다. 수분의 이동에 따른 확산계수는 같은 온도, 같은 농도에서 각각 농도나 온도의 증가시 높은 값을 가

Table 3. Arrhenius parameters¹⁾ of diffusion coefficients at various concentrations

Brix(%)	Moisture			Solid		
	Ea	D ₀	R ²	Ea	D ₀	R ²
20	11065.01	5983.20	0.9865	7156.98	251.09	0.8912
40	2683.24	0.1549	0.9658	3617.93	0.8332	0.9996
60	3638.79	1.6964	0.9985	1228.96	0.0195	0.9389

¹⁾D₀: Pre-exponential factor(mm²/min.), Ea: Activation energy(cal/mole)

저 확산이 빠르게 일어남을 알 수 있었다. 용질의 이동에 따른 확산계수는 온도의 증가에 따라 증가하는 경향을 보였으며, 농도의 영향에 있어서는 20°C에서는 농도의 증가에 따라 증가함을 보였으나 40°C와 60°C에서는 감소하는 경향을 보였다. 확산계수에 대한 온도의 영향을 Arrhenius 식에 적합시켜 본 결과, 5% 유의 수준에서 수분의 이동은 60 °Brix, 용질의 경우는 40 °Brix의 농도에서만 적합하다고 할 수 있었다. 수분과 용질의 확산에 있어서 낮은 농도인 20 °Brix에서는 높은 활성화 에너지를 보였으며 상대적으로 고농도인 40 °Brix와 60 °Brix에서는 낮은 활성화 에너지를 보여 확산이 쉽게 일어남을 알 수 있었다.

문 헌

- 김정호, 김중천, 고희출 : 삼정 과수원에총론. 향문사(1990)
- 농업협동조합중앙회 : 농림수산통계연보(1995)
- 정신교 : 사과와 건조특성 및 건조기구에 관하여. 경북대학교 석사학위논문(1985)
- Ponting, J. D., Watters, G. G., Ferry, R. R., Jacson, R. and Stanley, W. L. : Osmotic dehydration of fruits. *Food Technol.*, **20**, 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**, 60(1976)
- Hawkes, J. and Flink, J. M. : Osmotic concentration of fruit slices prior to freeze dehdtration. *J. Food Process. Preserve.*, **2**, 265(1978)
- Lerici, C. R., Pinnavaia, G., Dalla, R. M. and Bartolucci, L. : Osmotic dehydration of fruit ; osmotic agents on drying behaviour and product quality. *J. Food Sci.*, **50**, 1217(1985)
- Farkas, D. F. and Lazar, M. E. : Osmotic dehydration apple pieces ; Effect of temperature and syrup concentration rates. *Food Technol.*, **23**, 688(1969)
- 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)
- Surez, C., Chirife, J. and Viollaz, P. : Shape characterization for a simple diffusion analysis of drying of grains. *J. Food Sci.*, **47**, 410(1982)
- Becker, H. A. : On the absorption of liquid water by the wheat kernel. *Cereal Chem.*, **37**, 309(1960)
- 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)
- Saravacos, G. D. and Charm, S. E. : A study of the mechanism of fruit and vegetable dehydration. *Food Technol.*, **26**, 78(1965)
- 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)
- Crank, J. : The mathematics of diffusion. Oxford at the clearendon press, p.7(1975)
- Labuza, T. P. and Riboh, D. : Theory and application of arrehenius kinetics to the prediction of nutrient losses. *Food Technol.*, **36**, 66(1982)
- 김명환 : Effect of pretreatments prior to conventional dehydration on dried product quality. *생물화공*, **4**, 30(1990)
- Harris, N. L. : Osmotic pre-concentration : Developments and prospects. In "Minimal processing of foods and process optimization" Singh, R. P. and Oliveria, F. A. R.(eds.), CRC Press Inc., p.73(1994)
- 윤광섭, 최용희 : 당근의 삼투건조시 물질이동 특성. *한국식품과학회지*, **27**, 387(1995)
- Maria, A. M. and Florencia, C. M. : Evaluation of diffusion coefficients in osmotic concentration of bananas. *International Journal of Food Science and Technology*, **30**, 199(1995)
- Rastogi, N. K. and Raghavarao, K. S. M. S. : Kinetics of osmotic dehydration of coconut. *J. Food Process Eng.*, **18**, 187(1995)

(1996년 7월 19일 접수)