

고농도 용액에 침지시 감자 절편의 탈수모델에 관한 연구

최 동 원 · 신 해 현*

경민대학 식품영양과, *천안외국어대학 식품유통과

A Study of Dewatering Model of Potato Slice when Soaked in Concentrated Solution

Dong-Won Choi and Hae-Hun Shin*

Dept. of Food and Nutrition, Kyung-Min College, San 562-1, Kaneung dong, Euijeongbu shi, Kyungki do, 480-702, Korea

*Dept. of Food Marketing, Chonan College of Foreign Studies, San 89-1, Anseo dong, Chonan shu, Chungnam, 330-210, Korea

Abstract

To investigate the effect of molecular size of solute of solution where which potato slices were soaked, In the case of soaking in low molecular solution like NaCl and polyethylene glycol(PEG)400 solution only plasmolysis was observed. However in high molecular solution like PEG4000 and PEG6000, cytorrhysis was observed. Initial dewatering rate was faster when soaked in low molecular solution but total amount of removed water was larger in high molecular solution. Suggested model fitted well dewatering phenomena when soaked in high molecular solution. Pressure factor and concentration factor was more dependent on concentration of soaking solution than soaking temperature.

Key words: potato, dewatering model.

서 론

수분함량이 높은 식품은 건조하거나 냉동, 통조림 가공하기 전 단계의 예비건조 과정으로써 삼투건조(osmotic dehydration)가 이용되어 왔다. 특히 당장이나 염장에 의한 야채, 생선 등의 절임류를 제조하는 형태로 많이 이용되어 왔다^{1~3)}. 동남아에서는 특히 건조 과일을 제조하는데 당장법을 이용하여 상품 가치를 높이고 수확 후 손실을 방지하는 것으로 알려져 있다. 근래 들어 물질 이동의 제어를 통한 최적화 기법의 진보로 식품 시료를 농축용액에 침지시 용질의 침투는 최소화하면서 수분의 탈수량을 늘리는 삼투건조를 건조의 전처리 공정으로 사용함으로써 삼투건조 공정이 에너지 절약, 품질개선 기술로서의 새로운 응용 분야로 개척되고 있다.

삼투건조 공정에서는 고농도 용액에 침지시 제품으로부터 고농도 용액으로의 수분이동(water loss), 용액으로부터 제품 내부로의 용질의 이동(solute gain), 제품으로부터 저분자 수용성 성분의 용출이라는 3개

의 물질 이동 흐름이 관찰된다⁴⁾. 오랫동안 두 가지의 주요 물질이동 (water loss, solute gain) 현상에 대한 이해가 부족하고 적절한 제어 방법이 연구되지 않아 삼투건조 공정이 산업적인 응용분야로 개발되지 못하였다. 용질의 침투현상은 시료의 품질을 변화시킬 뿐 아니라 탈수 효율을 떨어뜨리는 경우도 있다⁵⁾. 삼투건조 공정에서 탈수를 최대화하고 용질의 함침을 최소화 할 수 있다면 건조제품, 냉동제품, 중간수분식품 등 다양한 응용분야를 발전시킬 수 있을 것이다.

삼투건조시 사용하는 용액의 용질 크기에 따라 시료에서의 용질 함침량이 달라지는 현상이 보고되었다⁶⁾. 이 연구에 의하면 저분자 용질일수록 용질의 함침량이 증가하고 고분자 용질일수록 탈수효과는 상승하면서 용질의 함침량은 감소하는 것으로 나타났다. 또한 용질의 분자량에 따라 침지시료의 형태가 달라지는 현상도 보고된 바 있다⁷⁾. 고농도 침지용액의 용질 크기가 식물 세포벽을 통과하고 원형질막을 경계로 세포 내외의 농도 차이에 의한 삼투압 때문에 세포질의 탈수 현상을 일으키고 그에 따라 원형질막이 세포

* Corresponding author : Dong-Won Choi

벽으로부터 분리되는 원형질막 분리현상(plasmolysis)이 생기게 된다. 이때 시료의 형태는 유지되면서 탈수에 따른 부피의 감소 현상이 관찰된다. 반면에 용질의 분자가 세포벽의 세공보다 크면 세포벽을 경계로 세포 내외의 농도 차이에 의한 세포질의 탈수현상 뿐 아니라 원형질이 분리되는 대신 세포벽의 압착 현상이 나타나 세포의 형태를 변화시키고 그에 따라 시료의 형태가 변하는 현상(cytorrhysis)이 나타난다⁸⁾.

본 연구에서는 plasmolysis와 cytorrhysis 현상에 따른 탈수량의 차이를 고분자 용질의 분자 압착력에 의한 현상으로 가정하고 model을 설정하여 이 현상을 설명하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료

실험에 사용한 감자는 시판되는 '대지' 품종을 사용하였다. 구입한 감자는 두께 1mm의 평판 형태로 잘라서 실험하였다. 용질로 사용된 NaCl은 순도 99%, polyethylene glycol(이하 PEG라함)은 평균 분자량 400, 4000, 6000인 것을 사용하였다. 용액은 각각 0.05M에서 1M 사이의 농도로 조제하여 사용하였다. 각 용액에 침지시킨 시료를 시간별로 꺼내어 물로 1~2초간 세척하여 표면의 NaCl과 PEG를 제거하고 여과지로 표면수분을 제거한 후 분석하였다.

2. 방법

1) 실험값 측정

수분함량과 용질의 함침량(solid gain)은 105°C에서 시료를 건조한 후 건조 전·후의 중량을 측정하여 다음의 식에 의해 계산하였다

$$WR = WL - SG$$

여기서, WR 은 weight reduction (g), WL은 water loss (g), SG는 solid gain (g)이다.

2) 탈수모델

감자시료의 탈수는 세포조직 내외의 압력차(삼투압, 분자 압착력)에 기인하는 것으로 가정하고 세포조직내에서 세포조직 외부로 수분이 탈수되는 경로를 도관 형태의 통로라고 가정할 때 도관 내외의 압력차이에 의한 유체의 흐름을 나타낸 Hagen-Poiseuille식⁹⁾으로 탈수량을 표현할 수 있다. 이때 주어진 가정은

- ① 시료의 탈수에 따른 용액의 농도 변화는 없다. 즉 삼투압과 분자 압착력은 일정하다.
- ② 감자의 수축은 도관의 직경감소로 표현되고 이는 침지시간에 따라 지수적으로 감소한다.
- ③ 감자의 수축은 침지용액의 농도와 침지시간에 영향을 받는다.

이다.

압력차에 의한 유체의 속도는

$$v = \frac{D^2 \Delta P}{32 \mu L} \quad (1) \text{ (Hagen - poiseuille 식)}$$

- v : velocity of fluid in pipe (cm/s)
- ΔP : pressure difference (g/cm · s²)
- μ : viscosity of fluid (g/cm · s)
- L : length of pipe (cm)
- D : diameter of pipe at time t (cm)

이고, 이때 $D = D_0 \exp(-at)$ 로 표현되므로

mass flux

$$\dot{m} = \frac{dm}{dt} = \frac{\rho D_0^2}{32 \mu L} \cdot \Delta P \cdot \exp(-2at) \quad (2)$$

$$\therefore m = \frac{\rho D_0^2}{64 \mu L} \frac{\Delta P}{a} \{1 - \exp(-2at)\} \quad (3)$$

- \dot{m} : mass flux (water flux) (g/s)
- m : water loss (g)
- D_0 : diameter of pipe at time t = 0
- ΔP : pressure factor (g/cm · s²)
- a : Concentration factor (s⁻¹)
- ρ : density of fluid (g/cm³)

압력인자(ΔP)와 농도인자(a)는 비선형 최소자승법¹⁰⁾에 의해 다음식 (4)를 최소화하는 값으로 결정하였다.

$$S = \Sigma (m_{exp} - m_{cal})^2 \quad (4)$$

- m_{cal} : predicted water loss (g)
- m_{exp} : experimental water loss (g)

결과 및 고찰

1. Plasmolysis와 cytorrhysis

감자절편을 저분자 용액인 NaCl과 PEG 400, 고분자 용액인 PEG 4000, PEG 6000에 침지시켜 조직의 변형을 관찰한 결과 2시간 경과 후부터 고분자 용액에 침지한 시료의 뒤틀림 현상이 발생하였으며 5시간 경과 후에는 Fig. 1과 같이 뚜렷한 대비를 나타내었다. 저분자 용액에 침지한 경우에는 시료의 형태를 유지하면서 부피만 축소되는 현상을 보인데 비해 고분자 용액에 침지시 시료의 뒤틀림 현상이 발생하는 것은 고분자 용질에 의한 세포벽의 압착에 따른 cytorrhysis 현상³⁾으로 생각된다. 배추를 NaCl용액과 PEG 4000 용액에 침지시켰을 때에도 각각 plasmolysis와 cytorrhysis 관찰된다고 보고되었다⁷⁾. 각 용액에 5시간 침지후의 탈수량은 저분자 용액인 NaCl용액이나 PEG 400 용액에 침지시 각각 초기 수분량의 24.7%, 65.4%였는데 비해 고분자 용액인 PEG 4000, PEG 6000용액에서는 초기 수분량의 85.8%, 89.1%의 탈수

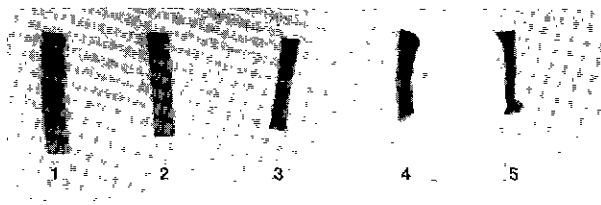


Fig. 1. Shape change of potato sample after soaked in various solution for 5 hours at 30°C.

1. raw potato; 2. soaked in 1 M NaCl; 3. soaked in 1 M PEG 400; 4. soaked in 0.1 M PEG 4000; 5. soaked in 0.1 M PEG 6000.

Table 1. Water loss and morphological change during soaking in various solution (30°C, 5 hr)

	NaCl (1 M)	PEG 400(1 M)	PEG 4000 (0.1 M)	PEG 6000 (0.1 M)
WL ¹⁾ /g sample	0.196	0.466	0.699	0.716
WL/IWC ²⁾	0.247	0.654	0.858	0.891
Cytorrhysis ³⁾	-	-	++	+++

¹⁾ WL : water loss, g

²⁾ IWC : initial water content, g

³⁾ + : cytorrhysis happened

- : cytorrhysis not happened

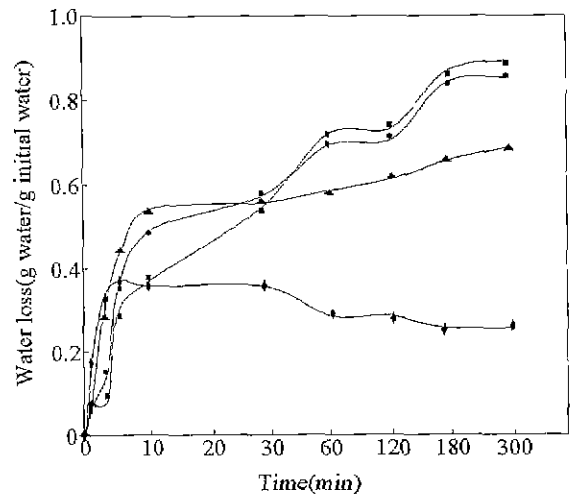


Fig. 2. Effect of soaking solution on dewatering of potato slice (soaking temperature : 30°C).

◆: 1 M NaCl, ▲: 1 M PEG400, ●: 0.1 M PEG4000, ■: 0.1 M PEG6000.

량을 보였다(Table 1). 탈수량이 가장 큰 PEG6000용액에 침지한 경우에 cytorrhysis정도도 가장 컸다. 탈수속도는 초기30분까지 저분자 용액에 침지시 더 빨랐다(Fig. 2). 그 이후에는 고분자 용액에 침지한 시료의 탈수속도가 더 빠른 현상을 보였다. 특히 NaCl용액의 경우 5분까지는 탈수량이 급격히 증가하였으나 그 이후에는 오히려 탈수량이 감소하는 경향을 보였는데 이는 급격한 탈수와 함께 증가하는 감자 시료내의 NaCl농도 때문에 시료 내부의 NaCl농도와 침지 용액의 NaCl농도가 역전되기 때문으로 생각된다. Shibata 등⁵⁾은 용질의 침투가 탈수효율을 떨어뜨릴 수 있다고 보고하였는바 본 실험의 결과도 같은 현상으로 생각된다. 초기탈수속도가 고분자 용액에서 느린 것은 분자량이 클수록 분자의 운동성이 낮으므로 시료조직으로의 침투성이 떨어지기 때문으로 생각되며 30분 이후에 고분자 용액에 침지한 시료의 탈수량이 더 큰 것은 세포벽을 통과하지 못한 고분자 용질들에 의한 압착력이 작용한 것으로 생각된다.

2. 탈수모델의 적합성

1) 모델의 적용

(4)식을 최적화 하는 ΔP 와 a 를 구한 결과 Table 2와 같았다. NaCl과 PEG 400 용액에 침지시 R^2 값이 매우 작아서 (3)식으로 표현되는 탈수 모델이 적합하지 않음을 보였다. 그에 비해 세포의 수축 및 변형력을 나타낸 PEG 4000, PEG 6000과 같은 고분자 용액에

Table 2. Pressure factor and concentration factor in the proposed model of the water loss during soaking in various solution

Solution	30°C			45°C			60°C		
	ΔP	a	R ²	ΔP	a	R ²	ΔP	a	R ²
1 M NaCl	16.9	134.7	0.5473	8.11	103	0.4752	7.27	21.4	0.5538
1 M PEG 400	0.27	1.31	0.6245	11.3	75.4	0.4974	2.12	18.9	0.6249
PEG 4000									
0.15 M	0.32	1.13	0.9775	0.47	2.76	0.9972	0.44	2.82	0.9710
0.10 M	0.17	0.84	0.9792	0.53	2.29	0.9623	0.23	2.57	0.9783
0.05 M	0.17	0.77	0.9787	0.16	0.89	0.9922	0.14	1.25	0.9435
PEG 6000									
0.1 M	0.17	0.76	0.9635	0.30	1.43	0.9672	0.49	3.11	0.9792
0.067 M	0.13	0.62	0.9652	0.15	0.77	0.9874	0.47	3.07	0.9921
0.05 M	0.05	0.47	0.9468	0.08	0.36	0.9404	0.31	2.07	0.9563

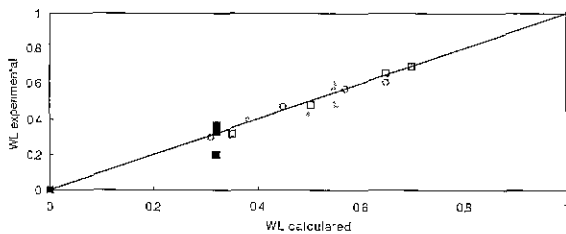


Fig. 3. Correlation between the calculated and the experimental values of water loss(WL) when soaked in various solution. □ : PEG6000(0.1M), ○ : PEG4000(0.1M), ▲ : PEG400 (1M), ■ : NaCl (1M).

침지시 탈수현상은 가정한 탈수 모델과 매우 잘 일치하는 것으로 나타났다. 주어진 탈수모델이 압력차에 의한 유체의 흐름현상을 바탕으로 세워진 모델인 비⁹⁾ 본 실험에 사용된 용액중 고분자 용액에서의 탈수현상이 더 잘 적용되는 것은 고분자 용액에 침지시 cytorrhysis를 일으키는 "분자압착력"이 탈수의 driving force가 되기 때문으로 생각된다.

2) 계산치와 실측치

각 용액에서 구해진 ΔP 와 a를 사용한 모델에 의해 시간별로 구한 탈수량과 같은 시간대에 실제로 구한 탈수량의 관계를 Fig. 3에 나타내었다. 고분자 용액에 침지시 계산치와 실측치가 거의 같았으나 저분자 용액 특히 NaCl용액의 경우 두 값 사이에 상당한 차이가 있는 것으로 나타나 모델의 적합성은 고분자 용액에 침지시 더 좋은 것으로 나타났다.

3) 압력인자(ΔP)와 농도인자(a)

침지조건이 탈수량에 영향을 미치고 모델에서 압력인자(ΔP)와 농도인자(a)가 시간에 따른 탈수량을 결정하므로 압력인자와 농도인자를 온도(T)와 농도(C)의 2차 다항식으로 표현한 후 그 계수를 Table 3에 나타내었다. ΔP 와 a 모두 온도(T), 농도(C)의 함수로 표현되지만 각 계수의 탄력성을 검정한 결과 Fig. 4와 같이 농도(C)에 대한 의존성이 더 큰 것으로 나타났다.

요 약

감자절편을 고농도용액에 침지하여 탈수시킨 결과 침지용액을 구성하는 용질의 분자량에 따라 탈수 형태가 다르게 나타났다. 저분자 용액인 NaCl, PEG 400 용액에 침지한 경우 조직의 뒤뜰현상(cytorrhysis)은 나타나지 않고 부피의 감소와 수분의 탈수현상이 나타난 반면 고분자 용액인 PEG 4000, PEG 6000용액에 침지한 경우 cytorrhysis현상을 동반한 부피의 감소와 탈수현상이 나타났다. 초기 탈수속도는 저분자 용액에 침지시 더 빨랐으나 최종 탈수량은 고분자 용액에 침지시 더 컸다. 고장성 용액에 감자절편을 침지시켜 탈수되는 기작이 두가지 압력(삼투압, 분자압착력)에 의해 진행된다고 가정하고 모델을 제안하여 검정한 결과 제안된 모델은 고분자 용액에 침지시의 탈수현상을 설명하는데 적합하였다. 모델에서 구해진 압력인자(ΔP)와 농도인자(a)는 온도(T)와 농도(C)의 함수로 표현되며 계수의 탄력성 검정결과 농도에 대한 의존성이 더 큰 것으로 나타났다.

Table 3. Regression coefficient of second degree polynomial for pressure factor (ΔP) and concentration factor(a) of proposed model as a function of soaking temperature(T) and concentration of soaking solution(C) when soaked in PEG 4000 and PEG 6000

$$\text{form : } \Delta P = k_0 + k_1C + k_2T + k_3CT + k_4C^2 + k_5T^2$$

$$a = b_0 + b_1C + b_2T + b_3CT + b_4C^2 + b_5T^2$$

			R ²				R ²
PEG 6000	k ₀	-	0.947	b ₀	-	0.915	
	k ₁	-0.67*		b ₁	-44.89**		
	k ₂	0.007*		b ₂	0.05*		
	k ₃	-		b ₃	-		
	k ₄	63.8*		b ₄	372.4**		
	k ₅	-		b ₅	-		
PEG 4000	k ₀	-	0.910	b ₀	-	0.911	
	k ₁	2.45*		b ₁	8.29**		
	k ₂	0.001**		b ₂	0.02**		
	k ₃	-		b ₃	-		
	k ₄	-		b ₄	-		
	k ₅	-		b ₅	-		

*: p<0.05, **: p<0.01

for PEG 6000: $\Delta P = -6.72C + 0.007T + 63.8C^2$, $a = -44.89C + 0.05T + 372.4C^2$
 PEG 4000: $\Delta P = 2.45C + 0.001T$, $a = 8.29C + 0.02T$

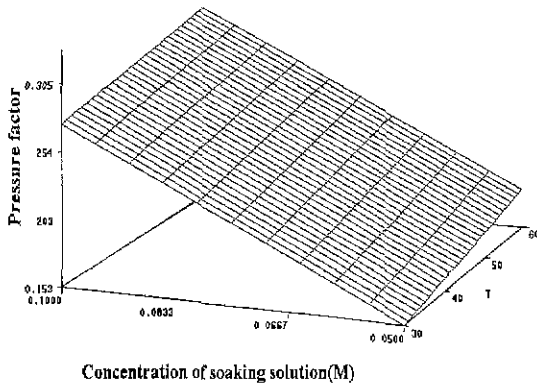


Fig. 4. Effect of soaking concentration and soaking temperature on pressure factor when soaked in PEG4000.

참고문헌

1. Valle del, F. R. and Nickerson, J. T. R. : Studies on salting and drying fish II, Dynamic aspects of the salting of fish, *J. Food Sci.*, 32, 218-224 (1967).

2. Geurts, T. J., Walstra, P. and Mulder, H. : Transport of salt and water during salting of cheese I, *Neth. Milk Dairy J.*, 28, 102-129 (1974).

3. Favetto, G., Chirife, J. and Bartholomai, G. B. : A study of water activity lowering in meat during immersion -cooking in sodium chloride-glycerol solution II, Kinetics of Aw lowering and effect of some process variables, *J. Food Technol.*, 16, 621-628 (1981).

4. Raoult-wack, A. L., Guilbert, S., Le Maguer, M. and Rios, G. : Simultaneous water and solute transport in shrinking media, part I, Application to dewatering and impregnation soaking process analysis, *Drying Tech.*, 9, 589-612 (1991).

5. Shibata, S., Toyoshima, H., Imai, T. and Inoue, Y. : Effect of osmosis agents and concentration on fruit quality, *Nippon Shokuhun Kogyo Gakkaishi*, 23, 397-402 (1976).

6. Contreras, J. E. and Smyrel, T. G. : An evaluation of osmotic concentration of apple rings using corn syrup solid solutions, *Can. Inst. Food Sci. Technol. J.*, 14, 301-314 (1981).

7. 유명식, 가공중 배추조직의 텍스처 변화와 리올로지 모델, 연세대학교 박사학위논문 (1990).

8. Raoult-wack, A. L.: Recent advances in the osmotic dehydration of foods. *Trends in Food Sci. Technol.*, 5, 255-260 (1994).
9. Christie J. Geankoplis : Transport Processes and Unit Operations (2nd ed.), Allyn and Bacon, Inc., p. 90-91

(1987).
10. Filayson, B.: Non-linear analysis in chemical Engineering, McGraw-Hill, New York (1980).

(1999년 11월 6일 접수)