

## 침지공정에서의 탈수 및 용질 침투현상에 관한 고찰

최동원 · 신해현\* · 최형택

경민전문대학 식품영양과, \*연세대학교 생명공학과

### Study on Dewatering and Impregnation Soaking Process

Dong-Won Choi, Hae-Hun Shin\* and Hyeong-Taeg Choi\*\*

Dept. of Food and Nutrition, Kyung-Min Junior College, 562-1 Ka-neung dong, Euijongbu, Kyung-gi do

\* Dept. of Biotechnology, Yonsei University, 134 Shin-chon dong Seodaemun gu, Seoul

\*\* Dept. of Food Technol., Ki-Jeon Women's Junior College, 177-1 Jung-Wha-San dong. Chon-Ju, Chon-Buk

#### Abstract

The DIS process(dewatering and impregnation soaking process) are using for dewatering of food materials at room temperature. And the DIS process are resulted in diffusion process as well as dewatering phenomena. During the DIS process, plasmolysis or cytorrhysis was happened by according to solute size. A tissue state of food material was very important variables for movement of water or solute, and running conditions are important for dewatering and impregnation. A models for DIS process were fundamentally given by Fick's law at unsteady state or mass balance. For example, Bicompartmental Model was given for quantification of water loss and solid gain.

Key words : DIS process(Dewatering and Impregnation in Soaking Process), osmotic dehydration, plasmolysis, cytorrhysis.

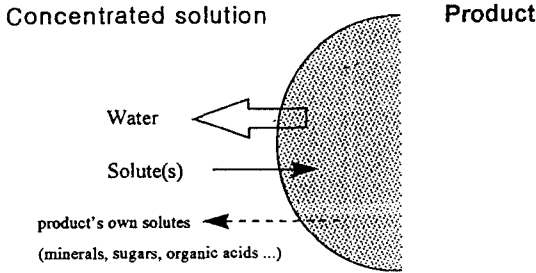
#### 서론

식품의 건조와 탈수는 식품가공에 필요한 여러 공정 중의 일부로서 대부분의 식품가공 공정에 탈수 혹은 건조 공정이 포함되어 있다. 실제 식품공업에서 보일러의 발생증기 중 22.8%가 건조공정에서 소비되어 단일 공정으로는 가장 많은 에너지를 소비하는 것으로 보고되었다<sup>1)</sup>. 따라서 에너지 절감을 위해 건조공정에서의 가열방법 변화, 건조기 운전 최적화 등의 방법이 제시되고 있으나 최근 들어 전처리 공정으로 탈수공정을 선택하여 건조 효율을 높이려는 시도가 진행되고 있다<sup>2~5)</sup>.

이런 목적으로 사용되는 탈수공정은 일반적으로 3가지 형태로 구분된다<sup>6)</sup>. 첫째는 기계적 방법인 원심분리, 여과 등의 방법을 사용하는 것이고, 둘째는 증류 등의 물리적 방법을 이용하여 수분량을 줄이는 것이다. 그리고 세번째 방법은 근래 들어 많이 쓰이는 농도차 효과에 의한 탈수법을 들 수 있다. 이 방법은 이른바 삼투 현상

(osmotic phenomena)이라 불리는, 용액의 농도차에 따라 수분이동의 추진력(driving force)이 생기는 현상을 이용하여 목적시료(과일, 야채, 육류, 생선, 치즈 등)를 부분적으로 혹은 전체적으로 농축용액에 침지하여 수분을 탈수하는 방법이다<sup>7~8)</sup>.

이러한 공정에서 침지 용액(soaking solution)을 만들기 위해 사용하는 용질들로는 설탕, 소금, 포도당, 솔비톨, 글리세린 등이 있으며 기타 수분 활성도를 낮추는 용질이 많이 사용되는 것으로 보고되며, 이 때 용질의 분자량이 클수록 탈수량은 증가하고 용질의 침투량은 감소한다고 알려져 있다. 이렇게 농축용액에 시료를 침지시키면 상반된 2개의 물질이동 흐름이 생성된다<sup>2)</sup>. 하나는 시료내의 수분이 빠져나오는 탈수현상이고 다른 하나는 용액 속의 용질들이 시료 속으로 침투하는 확산 현상이다(Fig. 1). 이러한 2개의 흐름 외에 시료내 물질들이 탈수되는 물 속에 녹아서 용출되는 흐름도 있으나<sup>2,11)</sup> 그 양이 품질에 영향을 주지 않을 정도인 것으로 알려져 있다<sup>6)</sup>. 즉, 위와 같은 공정에서는 침지에 의한



**Fig. 1. Schematic drawing of mass transfer in soaking processes.**

탈수와 용질 침투 현상이 발생되어 침지공정에서의 탈수 및 용질침투의 개념으로 표현하여 DIS 공정(dewatering and impregnation soaking process)이라고 부르기로 한다.

본 논문에서는 최근에 활발한 연구가 진행중인 DIS 공정에 대한 고찰로서, 건조과정에서의 중요성과 이론들 및 공정변수와 공정제어를 위한 모델화 등에 관하여 논하고자 한다.

**1. 건조 전처리 공정으로서의 DIS 공정**

DIS 공정을 이용하여 식품을 가공하는 방법은 주로 당장이나 염장에 의한 채소, 생선 등의 절임류를 제조하는 형태로 많이 이용되어 왔다<sup>12~14)</sup>. 동남아에서는 특히 건조과일을 제조하는데 당장법을 사용하여 상품가치를 높이고 수확후 손실을 방지하는 것으로 알려져 있다. 근래 들어 식품시료를 농축액에 침지시킴으로써 용질의 침투는 최소화하면서 수분의 탈수량을 늘려 건조의 전처리 공정으로 사용하려는 시도가 있어 왔다<sup>15~19)</sup>.

DIS 공정의 장점은 상온 조작이므로 비타민이나 무기질 같은 영양분의 손실이 적고, 조직감이나 향미, 색 등의 관능적 품질저하를 억제할 수 있으며, 상온에서 미리 탈수시킨 후 건조공정을 시행하므로 건조에 필요한 에너지 비용을 40~50% 가량 절감할 수 있다는 점<sup>16,19)</sup> 등이다. 반면에 DIS 공정의 단점이라면 제품의 완성도가 떨어진다는 점이다. 즉 DIS 공정 단독으로는 제품을 완성시킬 수가 없고 대부분의 경우 추가로 진공건조, 동결건조, 열풍건조 등의 공정을 수행해야 한다. 그럼에도 불구하고 에너지를 절감할 수 있고 또한 품질저하를 막을 수 있다는 장점 때문에 이 방법에 대한 관심이 증가하고 있다.

DIS 공정의 장점이자 단점으로 지적되는 것은 용질의 침투 현상이다. 건조과일의 경우 당장을 통해 설탕이 과육으로 침투해 들어가면서 과일의 당도를 높일 수는

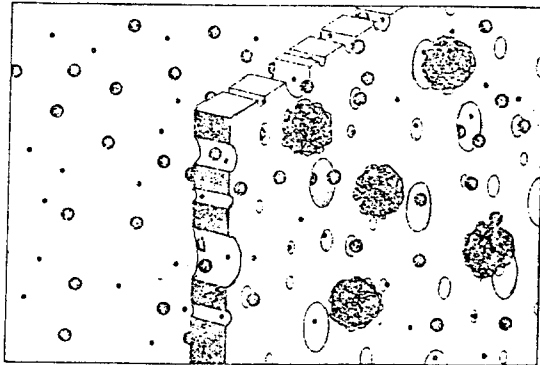
있으나 설탕 결정에 의해 과일의 조직감이 바뀌는 경우가 발생할 수 있다. 또한 침지용액을 구성하는 용질에 따라 시료에 침투시 시료에서 요구되지 않는 맛을 내는 경우도 있을 수 있다. 시료에 용질이 침투하는 경로는 2가지가 있다. 하나는 세포와 세포 사이의 공간(interstitial space)으로 용질이 침투하는 경우이고, 다른 하나는 세포벽, 세포막을 통하여 세포 내부로 용질이 침투하는 경우이다. 세포 사이의 공간으로 침투한 용질들도 결국에는 세포 내로 침투하게 된다. 따라서 DIS 공정에서 용질의 침투는 세포 내부로의 침투현상을 의미한다고 할 수 있다.

**2. 원형질분리(plasmolysis)와 세포벽 붕괴(cytorrhysis)**

세포 내로 용질이 침투하기 위해서는 2개의 장벽을 넘어야 한다. 하나는 세포막(혹은 원형질막)이고, 다른 하나는 세포벽이다. 이들은 크기가 다른 구멍들을 가지는데 일반적으로 세포막 구멍의 크기는 세포벽 구멍에 비해 작기 때문에 세포벽을 통과한 용질들이라 할지라도 세포막은 통과하지 못하는 것이 대부분인 것으로 알려져 있다. 일반적으로 식품시료를 염장이나 당장 처리를 하면 세포벽은 벽의 역할을 하지 못하고 염이나 당분자를 통과시키고 그에 따라 세포막을 경계로 세포질 내외에 농도 차이가 생기므로 세포질내의 수분이 탈수되면서 세포막이 세포벽에서 분리되어 수축하는 이른바 원형질막 분리(plasmolysis)현상이 생긴다<sup>20)</sup>.

용질의 크기가 세포벽 구멍의 크기보다 크면 세포벽이 붕괴되면서 세포 전체가 수축하는 세포벽 붕괴(cytorrhysis)현상이 생긴다<sup>21,22)</sup>. 세포벽은 세포가 1차적으로 외부환경과 접하는 경계이므로 외부에서 영양분을 섭취하거나 세포내의 생성물을 바깥으로 배출하는 직접적인 통로가 되기 때문에 세포벽 구멍의 크기를 재는 것은 세포의 영양생리를 연구하는데 매우 중요하다<sup>20)</sup>.

세포벽의 구조는 매우 복잡하지만 Money<sup>20)</sup>는 Fig. 2와 같이 미세섬유가 얽혀서 형성하는 추구조로 모형화하였다. 이 모형화된 세포벽에는 여러 가지 크기의 구멍들이 존재하는데 이들의 크기를 측정하기 위한 방법으로 space technique<sup>23~25)</sup>, visual technique<sup>21,22)</sup>와 같은 방법이 제안되었다. 전자는 세포에 의해 흡수되는 dextran이나 polyethylene glycol(PEG)의 평균 분자량을 측정하고 흡수되지 못한 dextran이나 PEG의 평균 분자량을 측정함으로써 세포벽 구멍의 크기를 측정하는 방법이다. Visual technique은 분자량별로 용액을 조제한 후 시료를 침지시켜서 세포벽 붕괴(cytorrhysis)가 일어나는 세포의 수를 측정함으로써 세포벽



**Fig. 2. Schematic representation of a heteroporous cell wall challenged with molecules of a range of diameters.** Diffusion of all but the largest species results in their equilibration on either side. The large random coils are excluded by the pores, resulting a differential in osmotic pressure and efflux of water from the left to the right side of the wall<sup>20</sup>.

구멍의 크기를 측정하는 방법이다. 이 방법에 의해 구한 자료를 Table 1<sup>21)</sup>에 나타내었다. 일반적인 미생물이나 식물세포의 경우 세포벽 구멍의 크기는 35~40 Å 정도인 것으로 나타났다. Dextran이나 PEG의 유효직경을 재는 방법으로는 고유점도(intrinsic viscosity)를 측정하는 방법과 Einstein - Stokes equation을 이용하는 방법이 소개되어 있다<sup>22)</sup>.

### 3. DIS 공정에 영향을 미치는 요인들

수분이나 용질이동에 결정적으로 영향을 주는 요인은 시료의 조직 상태이다. 많은 연구들을 통해 이런 물질이동을 일반화 하고자 하였지만 식품의 조직상태가 일정(homogeneous)하지 않기 때문에 어려움이 있었다. Raoult-wack<sup>26)</sup> 등은 설탕과 한천으로 구성된 모델식품을 제조하여 물질이동 상태를 실제 식품과 비교하여 계량적으로 나타내고자 하였다. 탈수량(water loss, WL)과 용질침투량(solid gain, SG)은 일차적으로 시료조직의 상태에 의해 영향을 받으며, 조직의 상태는 열이나 화학처리 혹은 동결 등의 처리에 의해 변화될 수 있다<sup>3,9,18,27~29)</sup>. 시료를 60% 당용액에 20℃에서 8시간 침지시키는 동안 일어나는 탈수현상과 용질침투현상을 설명한 보고에 의하면 탈수현상은 시료 깊은 곳까지 일어나는 반면에 용질의 침투현상은 표면에서 2~3mm 깊이까지 밖에 일어나지 않는다고 보고하고 있다<sup>10,28,30~33)</sup>.

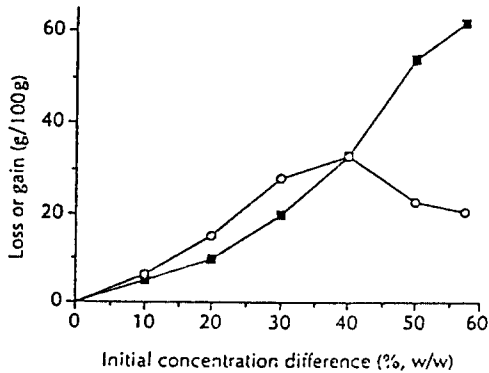
따라서 반투막 성질을 가지는 세포막을 통한 삼투현

상은 수분의 대량 탈수로 특징지어지고, 용질침투는 부수적인 현상으로 생각되어 왔다<sup>31,32,34~35)</sup>. Camirand<sup>34)</sup> 등은 이 현상을 세포막에 의한 용질의 배척현상으로 설명하고 있다. 현미경 관찰에 의하면 설탕은 세포벽을 통과하지만 세포막을 통과 못하여 세포벽과 세포막 사이의 공간에 머물러 있는 것으로 나타났다<sup>36)</sup>. 따라서 고장액(hypertonic solution)에 시료를 침지하면 미시적으로는 vacuolar osmosis가 생기고 거시적으로는 시료의 탈수현상이 나타나는 것으로 보고되었다<sup>37)</sup>. 이와 같이 세포막에 의하여 탈수현상이 영향을 받기도 하지만 세포들이 모여서 형성된 시료조직의 특성에 의해서도 큰 영향을 받는 것으로 알려져 있다<sup>3,38)</sup>. 실제로 품종이 다른 감자를 같은 실험조건에서 처리했을 때 무게 감소량이 25% 정도 차이나는 것이 보고되어 있다<sup>39)</sup>. 삼투현상에 영향을 주는 시료조직의 특성들로는 조직의 치밀도(compactness)<sup>40)</sup>, 불용성 고형분 함량<sup>32)</sup>, pectin-cellulose 복합체와 pectin의 비율<sup>41)</sup>, pectin물질의 gel화 속도<sup>42)</sup> 등이 있으며 삼투현상을 해석할 때에는 이 요인들을 고려해야 할 것이다.

삼투현상을 설명할 때 시료의 상태 및 특성 외에 고려해야 할 운전조건이 있다<sup>43)</sup>. 시료의 specific surface area, 온도, 침지시간, 침지용액의 농도, 용액을 구성하는 용질의 분자량, 압력, 시료와 용액의 비율 등인데 이들의 영향에 대해서는 Raoult - Wack<sup>6)</sup> 등이 근래에 보고한 바 있다. 모델식품<sup>6)</sup>을 침지용액에 침지시켰을 때 식품내의 당농도와 용액 속의 당농도와와의 차이에 따른 탈수량 및 용질침투량을 Fig. 3에 나타내었다. 그림에서 시료와 용액사이의 당농도 차이가 40%까지는 용질의 침투량(SG)이 더 우세한 경향이었으나 그 이상의 농도 차이를 주게 되면 탈수량(WL)이 더 많아지는 현상을 보였다. 또한 40% 이상의 농도차 조건에서는 시료 표면 층에 용질의 농축층이 생성되어 ascorbic acid 같은 수용성 물질의 손실도 어느 정도 감소되는 것으로 보고되었다<sup>44)</sup>.

모델 식품의 경우 온도를 올림에 따라 탈수량은 증가하는 반면 용질의 침투량은 변화가 없는 것으로 보고<sup>26)</sup>되었으나, 사과나 당근, 호박 등의 실제식품에서는 온도를 올림에 따라(<70℃) 조직의 특성이 변하면서 탈수량과 용질침투량이 같은 비율로 증가하는 것으로 보고되었다<sup>18,29)</sup>. 용액을 구성하는 용질의 크기도 용질 침투량에 영향을 주어 용질의 분자량이 증가함에 따라 용질 침투량은 감소하는 것으로 보고되었다<sup>45)</sup>.

침지중 교반 조건도 탈수에 매우 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다<sup>46)</sup>. Raoult<sup>47)</sup> 등은 침지중 교반에 의해 탈수량은 크게 증가하고 용질 침투량은 감소하는



**Fig. 3. Evolution of water loss(■) and sucrose gain(○)(g/100g of initial product) obtained after 3h of soaking at 50°C as a function of the initial concentration difference between the model food and the solution(50°C). A model food(agar gel), with an initial composition(w/w) of 86.4% water, 6% sucrose and 4.0% agar, was immersed and agitated in sucrose solutions of various concentrations: 20%, 30%, 40%, 50%, 60% and 67%(Data from Raoult-Wack et al.<sup>6)</sup>).**

것으로 보고하였다. 이는 교반이 없을 때는 시료 표면에 농도가 묽은 경계층(boundary layer)이 생겨서 수분의 이동을 방해하는 것으로 설명하였으며, 이 때 용질 침투량은 증가하는 것으로 알려졌다<sup>47)</sup>. 또한 교반을 행하는 시점도 중요한데, 앞에서 언급한 boundary layer는 침지 후 30분 이내에 생성되므로 30분이 경과하면 시료와 용액 사이의 물질이동은 자연대류(natural convection)에 의해서만 일어나므로 물질 이동량이 매우 적게 된다. 따라서 초기 30분 이내에 교반을 행함으로써 전체 탈수공정의 효율을 높일 수 있게 된다.

#### 4. DIS 공정 제어를 위한 모델화

DIS 공정을 모델화하는 데 어려운 점은 2가지의 물질전달 흐름이 동시에 생기면서 시료가 수축하고 변형된다는 것이다<sup>13,32,35,48)</sup>. 식품시료와 같이 복잡한 조직에서의 수분과 용질의 이동에 대한 이론적인 배경은 확립되어 있지 않지만 DIS 공정에서 수분과 용질의 분포를 설명하려는 시도는 계속되어 왔다. DIS 공정에서의 물질이동을 설명하기 위해 여러 가지의 모델이 제시되었는데 많은 연구자들이 비정상 상태(unsteady state)에서의 Fick's law에 의해 물질이동이 이루어진다는 가정을 바탕으로 모델을 구성하였다<sup>4,10,49~51)</sup>. 이 경우 수분과 용질의 이동은 한 가지만 고려대상이 되었으며 Conway<sup>49)</sup>는 용질 이동량이 수분 이동량에 비해 매우 작으므로 무시할 수 있다고 설명하였다.

이러한 Fick's law에 의한 모델식을 여러 가지 시료 모양과 제한조건에 따라<sup>52)</sup> 수학적인 해를 구하면 농도 인자와 침지시간은 비례관계로 구해진다. 이 때 농도인자는 여러 가지 형태로 표현되는데 전체 고형분에 대한 침투 용질량의 비<sup>10)</sup>, 시료내 수분에 존재하는 설탕의 molality<sup>50)</sup>, 일정시간 동안의 탈수량/평형상태에 도달했을 때의 탈수량<sup>49)</sup>, 수분함량에 대한 용질량의 비<sup>4)</sup> 등으로 표현된다. 최근의 연구 결과에 의하면 이런 시도에 의해 탈수량과 용질 침투량을 어느 정도 정확히 예측할 수 있는 것으로 보고되었다<sup>53~59)</sup>. Hough<sup>60)</sup> 등은 Fick's law에 의한 모델을 수치해석적으로 풀어서 DIS 공정 수행시 발생하는 시료의 수축현상까지 고려하여 탈수량과 용질 침투량을 계산하였다.

또한 물질수지에 기초한 몇 가지 모델들도 제안되었다<sup>54~55,61~62)</sup>. 이들 중 Raoult-wack 등<sup>61)</sup>이 제안한 'bi-compartmental model'은 모델식품에서 탈수량과 용질 침투량을 시간에 따라 정확히 계산해 낼 수 있는 것으로 보고되었다. DIS 공정에서는 물질이동이 등온상태에서 일어나고 상의 변화가 없기 때문에 Irreversible Process Thermodynamics(IPT) 개념을 도입할 수 있는 것으로 알려져 있다. 이 개념을 이용하여 조직의 각 성분별로 DIS 공정에 미치는 영향을 분석한 연구가 보고되어 있다<sup>63~64)</sup>.

## 요 약

최근 건조 및 탈수공정으로 사용되고 있는 침지(soaking)에 의한 방법인 DIS 공정(dewatering and impregnation soaking process)은 상온에서 침지용액에 식품시료를 담금으로서 시료내의 수분이 탈수되는 현상을 이용한 공정으로서 이 때 용액 속의 용질들이 시료 속의 세포 내로 침투하는 확산현상도 동시에 발생한다. 따라서 영양분의 손실과 관능적 품질저하를 억제할 수 있으며, 건조시의 에너지를 절감하는 등의 특성을 갖는다. DIS 공정에서는 용질의 크기에 따라 원형질막 분리현상과 세포벽 붕괴현상이 발생하며, 시료의 조직상태와 운전조건에 의하여 그 탈수 정도는 차이가 나타난다. DIS 공정을 제어하기 위한 모델화는 주로 비정상상태에서의 Fick의 법칙과 물질수지를 기초로 한 여러 가지 모델들이 제안되어 등온상태에서 시간에 따른 탈수량과 용질침투량을 정확히 예측하고자 하고 있다.

## 참고문헌

1. 에너지 관리공단 : 750개 업체에너지 진단 종합보고서, p.

- 852~854 (1981).
2. Ponting, J.D., Walters, G.C., Forrey R.R., Jackson R. and Stanley W.L. : Osmotic dehydration of fruits, *Food Technol.*, **20**, 125~128 (1966).
  3. Ponting, J.D. : Osmotic dehydration of fruits - Recent modifications and applications, *Proc. Biochem.*, **8**, 18~20 (1973).
  4. Rahman, M.S. and Lamb, J. : Osmotic dehydration of pineapple, *J. Food Sci. Technol.*, **7**(3), 150~152 (1990).
  5. Alvarez, C.A., Aguerre, R., Gomez, R., Vidales, S., Alzamora, S.M. and Gershenson, L.N. : Air dehydration of strawberries - Effects of blanching and osmotic pretreatments on the kinetics of moisture transport, *J. Food Eng.*, **25**, 167~178 (1995).
  6. Raoult-Wack, A.L., Lenart, A. and Guilbert, S. : in *Drying of Solids*, Mujumdar, A.S. (ed.), International Science Publisher, p. 21~51 (1992).
  7. Lericci, C.R., Mastrocola, D., Sensidoni, A. and Dalla Rosa M. : Osmotic concentration in food processing, in *Preconcentration and Drying of Food Materials*, Bruin, S. (ed.), p. 123~134 (1988).
  8. Nanjundaswamy, A.M. and Radhakrishniak, S.G. : Advances in dehydration processes for fruits, vegetables and their products, in *Trends in Food Science and Technology*, Raghavenfrarao, M.R.(ed.), India, p. 369~376 (1989).
  9. Karel, M. : Osmotic drying, in *Principles of Food Science - Part II*, Fennema (ed.), p. 348~357 (1975).
  10. Hawkes, J. and Flink, J.M. : Osmotic concentration of fruit slices prior to freeze dehydration, *J. Food Proc. Pres.*, **2**, p. 265~284 (1978).
  11. Dixon, G.H. and Jen, J.J. : A research note - Change of sugar and acids of osmotic dried apple slices, *J. Food Sci.*, **42**(4), 1126~1127 (1977).
  12. Del Valle, 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).
  13. Geurts, T.J., Walstra, P. and Mulder, H. : Transport of salt and water during salting of cheese, I - Analysis of the processes involved, *Neth. Milk Dairy J.*, **28**, 102~129 (1974).
  14. Favetto, G., Chirifie, 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 Tech.*, **16**, 621~628 (1981).
  15. Pavasovic, V., Stefanovic, M. and Stevanovic, R. : Osmotic dehydration of fruit, in *Drying '89*, Mujumdar, A.S. (ed.), Hemisphere Publishing Co., p. 761~764 (1986).
  16. Lenart, A. and Lewicki, P.P. : Energy consumption during osmotic and convection drying of plant tissue, *Acta Alimentaria Polonica*, **14**(1), 65~72 (1988).
  17. Lericci, C.R., Pinnavaia, G., Dalla Rosa, M. and Bertilucci, L. : Osmotic dehydration of fruits - Influence of osmotic agents on drying behavior and product quality, *J. Food Sci.*, **50**, 1217~1226 (1985).
  18. Lenart, A. and Lewicki, P.P. : Osmotic preconcentration of carrot at high temperature, in *Engineering and Foods*, Spies, W.E.I. and Schubert, H. (ed.), Elsevier Science Publishers, London, p. 1~10 (1990).
  19. Lenart, A., Lewicki, P.P. : Osmotic preconcentration of carrot tissue followed by convection drying, in *Preconcentration and Drying of Food Materials*, Bruin, S. (ed.), p. 307~308 (1988).
  20. Money, N.P. : Measurement of pore size in the hyphal cell wall of *Achyla bisexualis*, *Exp. Mycology*, **14**, 234~242 (1990).
  21. Carpita, N., Sabulase, D., Monterzinos, S. and Delmer, D.P. : Determination of the pore size of cell walls of living plant cells, *Science*, **205**(14), 1144~1147 (1979).
  22. Money, N.P. and Webster, J. : Cell wall permeability and its relationship to spore release in *Achyla intricata*, *Exp. Mycology*, **12**, 169~179 (1988).
  23. Black, S.H. and Gerhardt, P. : Permeability of bacterial spores. I. Characterization of glucose uptake, *J. Bacteriol.*, **82**, 743~749 (1961).
  24. Gerhardt, P. and Black, S.H. : Permeability of bacterial spores. II. Molecular variables affecting solute permeation, *J. Bacteriol.*, **82**, 750~760 (1961).
  25. Gerhardt, P. and Judge, J.A. : Porosity of isolated cell walls of *Saccharomyces cerevisiae* and *Bacillus megaterium*, *J. Bacteriol.*, **87**, 945~951 (1964).
  26. 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 (osmotic dehydration), *Drying Technol.*, **9**(3), 589~612 (1991).
  27. Nur, M.A. : Processing and properties of osmotic dehydrated bananas, *Ph. D. Thesis*, Univ. of Madison, Wisconsin (1976).
  28. Islam, M.N., and Flink, J.N. : Dehydration of potato, II. Osmotic concentration and its effect on air drying behavior, *J. Food Technol.*, **17**, 387~403 (1982).
  29. Lenart, A. and Lewicki, P.P. : Osmotic dehydration of apples at high temperature, in *Drying '89*, Mujumdar, A.S. (ed.), Hemisphere Publishing Co., p. 501~508 (1986).
  30. Dixon, G.M., Jen, J.J. and Paynter, V.A. : Tasty apple slices results from combined osmotic-dehydration and vacuum-drying process, *Food Product Development*, **10**(7), 60~66 (1976).
  31. Bolin, H.R., Hucsolli, C.C. and Jackson, R. : Effect of osmosis agents and concentration on fruit quality, *J. Food Sci.*, **48**, 202~205 (1983).
  32. Lenart, A. and Flink, J.M. : Osmotic concentration of potatoes. I. Criteria for the end point of the osmotic effect, *J. Food Technol.*, **19**, 65~89 (1984).
  33. Lenart, A., Lewicki, P.P. and Palacha, Z. : Water binding in the apple tissue during its diffusive processing, in *Drying '89*, Mujumdar, A.S. (ed.), Hemisphere Publishing Co., p. 516~519 (1986).
  34. Camirand, W.M., Forry, R.R., Popper, K., Boyle, F. P. and Stanley, W.L. : Dehydration of mem-

- brane-coated foods by osmosis, *J. Sci. Food Agric.*, **19**, 472~474 (1986).
35. Lenart, A. and Flink, J.M. : Osmotic concentration of potatoes. II. Spatial distribution of the osmotic effect, *J. Food Technol.*, **19**, 65~89 (1984).
  36. Isse, M.G. and Shubert, T.H. : Osmotic dehydration of mango - Mass transfer between mango and syrup, Paper presented at the 4eme Congress Mondial Degenie Chimique, Karlsruhe, Juin (1991).
  37. Marcotte, M. : Mass transport phenomena in osmotic processes. Experimental measurements and theoretical consideration, *Ph. D. Thesis*, University of Alberta, Canada, p. 193 (1988).
  38. Flink, J.M. : Process conditions for improved flavor quality of freeze dried foods, *J. Agr. Food Chem.*, **23**, 1019~1026 (1975).
  39. Hartal, D. : Osmotic dehydration with sodium chloride and other agents, *Ph. D. Thesis*, University of Illinois, USA (1967).
  40. Giangoacomo, R., Torreggiani, D. and Abbo, E. : Osmotic dehydration of fruit. Part I. Sugars exchange between fruit and extracting syrups, *J. Food Proc. Pre.*, **11**, 183~195 (1987).
  41. Forni, E., Torreggiani, D., Battiston, P., and Polesello, A. : Research into changes of pectic substrates in apricots and peaches processed by osmotic dehydration, *Carb. Polym.*, **6**, 379~393 (1986).
  42. Moy, J.H., Lau, N.B.H. and Dollar, A.M. : Effects of sucrose and acids on osmotic-dehydration of tropical fruits, *J. Food Proc. Pres.*, **2**, 131~135 (1978).
  43. Raoult-Wack, A.L. : Recent advances in the osmotic dehydration of foods, *Trends in Food Sci. Technol.*, **5**(8), 255~260 (1994).
  44. Vial, C., Guilert, S. and Cug, J. : Osmotic dehydration of kiwi-fruit. Influence of process variables on the color and content, *Science des Aliments*, **11**, 63~84 (1990).
  45. Contreras, J.E., Smyrl, T.G. : An evaluation of osmotic concentration of apple rings using corn syrup solids solutions, *Can. Inst. Food Sci. Technol. J.*, **14**, 301~314 (1981).
  46. Bongiwat, D.R. and Sreenivasan, A. : Studies of osmotic dehydration of Banana, *J. Food Sci. Technol.*, **14**, 104~112 (1977).
  47. Raoult, A.L., Lafont, F., Rios, G. and Guilbert, S. : Osmotic-dehydration study of mass transfer in terms of engineering properties, in *Drying '89*, Mujumdar, A.S. and Roques, M.(ed.), Hemisphere Publishing Corporation, N.Y., , p. 487~495 (1989).
  48. Le Maguer, M. : Osmotic dehydration reviews and future directions, *Proc. symposium Progress in Food Preservation processes*, Brussels, 1, p. 283~309 (1988).
  49. Conway, J., Castaigne, F., Picard, G. and Voxan, X. : Mass transfer considerations in the osmotic dehydration of apples, *Can. Inst. Food Sci. Technol. J.*, **16**, 25~29 (1983).
  50. Magee, T.R.A., Hassaballah, A.A. and Murphy, W. R. : Internal mass transfer during osmotic dehydration of apple slices in sugar solutions, *Int. J. Food Sci. Technol.*, **7**, 147~155 (1983).
  51. Beristain, C.I., Azuara, E., Cortes, R. and Garcia, H.S. : Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple rings, *Int. J. Food Sci. Technol.*, **25**, 576~582 (1990).
  52. Crank, J. : in *The Mathematics of Diffusion*, 2nd ed., Clarendon Press, Oxford (1979).
  53. Biswal, R.N., Bozorgmehr, K., Tompkins, F.D. and Liu, X. : Osmotic concentration of green beans prior to freezing, *J. Food. Sci.*, **56**(4), 1008~1012 (1991).
  54. Azuara, E., and Beristain, C.I. : Development of a mathematical model to predict kinetics of osmotic dehydration, *J. Food Sci. Technol.*, **29**(4), 239~242 (1992).
  55. Azuara, E., Hugo, R.C., Garcia, C. and Beristain, C. I. : Kinetic model for osmotic dehydration and its relationship with Fick's second law, *Int. J. Food Sci. Technol.*, **27**, 409~418 (1992).
  56. Potts, E.A., Fleming, H.P., McFeeters, R.F. and Guinnup, D.E. : Equilibration of solutes in nonfermenting brined pickling cucumbers, *J. Food Sci.*, **51**(2), 434~439 (1986).
  57. Hough, G., Alzamora, S.M., Chirife, J. and Marini, C. : Verification of a theoretical model for predicting leaching losses of ascorbic acid during water blanching of peas, *Lebensm.-Wiss. Technol.*, **23**, 126~129 (1990).
  58. Lazarides, H.N., Katsanidis, E. and Nikolaidis, A. : Mass transfer kinetics during osmotic preconcentration aiming at minimal solid uptake, *J. Food Eng.*, **25**, 151~166 (1995).
  59. Wood, F.W. : The diffusion of salt in pork muscle and fat tissue, *J. Sci. Food Agric.*, **17**, 138~140 (1966).
  60. Hough, G., Chirife, J. and Marini, C. : A simple model for osmotic dehydration of apples, *Lebensm.-Wiss. Technol.*, **26**, 151~156 (1993).
  61. Raoult-Wack, A.L., Petitdemange, F., Giroux, F., Rios, G., Guilbert, S. and Lebert, A. : Simultaneous water and solute transport in shrinking media. Part 2. A compartmental model for dewatering and impregnation soaking processes, *Drying Technol.*, **9**(3), 613~630 (1991).
  62. Colligna, A. and Raoult-Wack, A.L. : Dewatering and salting of Cod by immersion in concentrated sugar/salt solutions, *Lebensm.-Wiss. Technol.*, **27**, 259~264 (1994).
  63. Toupin, C.J. and Le Maguer, M. : Osmotically induced mass transfer in plant storage tissues. A mathematical model. Part II, *J. Food Eng.*, **10**, 97~121 (1989).
  64. Marcotte, M., and Le Maguer, M. : Mass transfer in cellular tissues. Part II. Computer simulations vs experimental data, *J. Food Eng.*, **17**, 177~199 (1992).

(1997년 9월 23일 접수)