

## 고분자 용액의 세포 압착 현상에 의한 감자 절편의 탈수 현상에 관한 연구

†최동원 · 신해현\* · 김종규\*\*

경민대학 다이어트정보과, \*백석문화대학 외식산업학부, \*\*가천의과학대학교 보건행정학과

### A Study of Dewatering Phenomena of Potato Slice Cytorrhysed by High Molecules

Dong-Won Choi<sup>†</sup>, Hae-Hun Shin\* and Jong-Geu Kim\*\*

Department of Diet Information, Kyung-Min College, \*Division of Foodservice Industry, Baekseok College of Cultural Studies,  
Department of Health Administration, Gachon University of Medicine and Science\*\*

#### Abstract

To study simultaneous water and solute transport kinetics during soaking in concentrated solution, the influence of the concentration and molecular weight of the solute (polyethylene glycol (PEG) and NaCl) in the soaking solution and the temperature on the water loss and solute gain rates were observed by using a model vegetable tissue (potato). When potato slices (4 cm × 4 cm × 0.1 cm) soaked in 60% PEG solutions, the water loss rate of the early phase decreased with increasing of the molecular weight of PEG from 200 to 6,000, while the final water loss increased with increasing the molecular weight of PEG and it reached to 80%. The cell wall of potato tissue was permeable to NaCl and PEGs of which average molecular weight is smaller than 400 but it was not permeable to PEG 600 and larger molecules. PEG which has average molecular weight below 600 induced plasmolysis and those above 600 induced cytorrhysis. The water loss rate of potato sample soaked in smaller molecular weight PEG solution was faster than those soaked in higher molecular weight PEG solution before cytorrhysis happened. The water loss rate was reversed after cytorrhysis happened. The volume change of potato within the first 60 minutes was larger in low molecular PEG solution but the final ratio of decreasing volume was larger in high molecular PEG solutions. In PEG 200 solution, the potato tissue was slightly shrunk without shape change. However, in PEG 4,000 solution, volume of potato was reduced significantly and potato tissue was twisted.

Key words : osmotic dehydration, polyethylene glycol, plasmolysis, cytorrhysis

#### 서 론

삼투 탈수(osmotic dehydration)는 수분 함량이 높은 식품을 고농도 수용액에 침지하여 수분을 탈수하는 방법으로 건조하거나 냉동, 통조림 식품으로 가공하기 전 단계의 예비 건조 과정으로 이용되어

왔다. 삼투 건조는 특히 당장이나 염장에 의한 야채, 생선 등의 절임류를 제조하는데 많이 이용되어 왔으며<sup>1-3)</sup>, 동남아에서는 과일을 당장법에 의하여 탈수하여 상품 가치를 높이고 수확 후 손실을 방지하여 왔다. 최근 물질 이동의 제어를 통한 최적화 기법의 진보로 식품 시료를 고농도 용액에 침지했을

<sup>†</sup> Corresponding author : Dong-Won Choi, Kyung-Min College, San 562-1, Kaneung dong, Euijeongbu shi, Kyungki do 480-702, Korea.

Tel : +82-31-828-7381, E-mail : potato@kyungmin.ac.kr

때 용질의 침투를 최소화하면서 탈수량을 증가시킬 수 있게 됨에 따라 삼투 탈수 공정이 에너지 절약, 품질 개선 기술로서의 새로운 응용 분야로 개척되고 있다.

삼투 탈수 공정에서 고농도 용액에 시료를 침지했을 때, (1) 제품으로부터 고농도 용액으로 수분 이동 (water loss), (2) 용액으로부터 제품 내부로의 용질의 이동 (solute gain, solid gain), (3) 제품으로부터 저분자 수용성 성분의 용출이라는 3개의 물질 이동이 일어난다<sup>4)</sup>. 이와 같은 물질 이동 현상에 대한 이해가 부족하고 적절한 제어 방법이 개발되지 않아 삼투 건조 공정을 산업적으로 이용하는데 제약을 받아왔다. 용질의 침투 현상은 시료의 품질을 변화시킬 뿐 아니라 탈수 효율을 감소시키므로<sup>5)</sup> 탈수를 최대화하고 용질의 함침 (impregnation)을 최소화 할 수 있다면 삼투 탈수 공정은 건조 제품, 냉동 제품, 중간 수분 식품 등 다양한 응용 분야로 발전시킬 수 있을 것이다.

침지 용액의 용질로 사용되는 것에는 설탕, 소금, 솔비톨, 글리세린 등이 있으며, 기타 수분 활성도를 저하시키는 용질이 많이 사용되고 있다<sup>6)</sup>. 이와 같은 용질 분자가 시료세포 내로 침투하기 위해서는 2개의 장벽을 넘어야 한다. 하나는 세포막(혹은 원형질막)이고, 다른 하나는 세포벽이다. 용질 분자 크기가 시료 세포벽의 세공(pore)크기보다 크고 원형질막의 세공 크기보다 작으면 용질 분자가 세포벽은 통과하고 원형질막을 통과하지 못하므로 원형질막을 경계로 세포 내외에 농도 차이가 생기게 되고, 이로 인한 삼투압 때문에 세포질 내의 수분이 탈수되면서 원형질막이 수축되어 세포벽으로부터 분리되는 원형질막 분리 (plasmolysis)가 생기게 된다. 이때 대부분의 경우, 시료의 형태는 유지되면서 탈수에 따른 부피 감소가 관찰된다. 반면에 용질 분자가 세포벽의 세공보다 크면 세포벽을 경계로 형성된 세포 내외의 농도 차이로 인해 용질이 세포 내로 이동하려는 힘이 생기게 되고 이로 인해 세포가 압착, 변형, 붕괴되는 세포벽 붕괴 (cytorrhysis) 현상이 일어난다<sup>7,8)</sup>.

최근의 연구에 의하면 침지 용액을 조절하는 용질이 저분자 용질의 경우에는 solid gain이 우수하고 고분자 용질일수록 탈수 효과가 향상되는 것으로 보고되고 있다<sup>6)</sup>. 따라서 삼투 탈수에서는 용액의 조성이 중요한 인자이며, 2가지 이상의 용질을 혼합하여 각 용질의 장점을 이용한 물질 이동의 제어를 제안하고

있다. 이 경우, 용질의 분자 크기, 세포의 조직, 향류 물질 이동 속도 등이 탈수와 용질의 함침량에 큰 영향을 미친다. 그러나 이제까지 보고된 연구들은 분자량이 작은 NaCl이나 설탕 등에 의한 plasmolysis에 의한 물질 이동 현상을 설명하려는 것이 대부분이었고, 그에 비해 dextrin이나 polyethylene glycol(PEG)과 같이 분자량이 큰 용질에 대한 cytorrhysis 현상과 관련된 물질 이동에 대하여는 상세히 연구된 바 없다. 따라서 본 연구에서는 고농도 용액에 침지했을 때 관찰된 plasmolysis와 cytorrhysis 현상에 따른 탈수량과 고형분 함침량을 측정하여 기존의 삼투 탈수 공정의 단점으로 지적되기도 한 과도한 고형분의 함침 현상을 개선하기 위한 기초 자료를 얻고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 재료

실험에 사용한 감자는 시판 '대지' 품종을 사용하였다. 구입한 감자는 두께 1 mm의 평판 형태로 잘라서 실험하였다. 용질로 사용된 NaCl은 순도 99.99%인 Aldrich사 것을, polyethylene glycol(PEG)은 Fluka사 것으로 평균 분자량 200, 400, 600, 1500, 4000, 6000인 것을 사용하였다.

덱스트린은 D.E.값이 100인 것은 Flyka사 포도당을, D.E.값이 50인 것은 같은 회사의 말토스를, D.E. 값이 20인 것은 Fluka사의 덱스트린을, D.E.값이 7인 것은 Matsutani사의 덱스트린을, D.E.값이 2인 것은 ADM사의 덱스트린을 사용하였다. D.E.값별로 공급 회사가 다른 것은 낮은 D.E.값의 경우 한 회사에서 한 가지 제품만 구입할 수 밖에 없었기 때문이다.

### 2. 실험 방법

0.05 M에서 3 M 사이의 농도로 조제한 각 용액을 항온 수조에서 온도를 맞추어 시료를 침지시키고 일정한 시간 간격으로 꺼내어 물로 1~2초간 세척하여 표면의 NaCl과 PEG를 제거하고 여과지로 표면 수분을 제거한 후 탈수량과 용질의 함침량을 구하였다.

부피는 메스 실린더에 물을 채운 후 시료를 담귀 측정한 눈금을 읽어 측정하였다.

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

$$SG = WL - WR$$

여기서, *WR*은 용액에 침지에 따른 weight reduction (g), *WL*은 water loss(g), *SG*는 solid gain(g)이다.

수분의 확산 계수는 무한 평판에 대한 Fick의 제2법칙에 근거한 물질 이동식에 근거하여 예측하였다<sup>9)</sup>.

$$\frac{WL}{WL_{\infty}} = 2 \left( \frac{D t}{\pi l^2} \right)^{1/2}$$

*WL* : 시간 *t*의 탈수량, *WL*<sub>∞</sub> : 평형 상태에 도달했을 때의 탈수량, *l* : 평판 두께의 절반, *D* : 확산 계수

### 결과 및 고찰

#### 1. 용질 분자량 및 온도가 탈수량에 미치는 영향

감자를 두께 1 mm의 절편으로 절단하여 분자량이

다른 polyethylene glycol(PEG) 용액에 침지하여 용질 분자량의 크기가 탈수에 미치는 영향을 살펴보았다.

Fig. 1은 평균 분자량이 200, 600, 1500, 4000, 6000인 60% PEG 용액에 침지했을 때 각 온도에서의 탈수량을 나타낸 것이다. 전체적으로 탈수 패턴은 비슷하였으나 동일 중량 농도임에도 5분까지의 탈수량은 분자량이 작은 PEG 200 용액에 침지시 약 50% 정도였으나 분자량이 큰 용액에 침지시 같은 시간에 약 40% 내외의 탈수량을 보여 분자량이 작을수록 초기 탈수량이 많았으며, 최종 탈수량은 분자량이 클수록 컸다. 즉, 침지온도 30℃에서 PEG 200에 침지한 경우에는 침지 후 10분 동안 급속히 탈수되었으며 10분 후에는 완만히 탈수되어 초기 수분의 약 65%가 탈수되었다. 그러나 30℃에서 PEG 6000에 침지한 경우, 초기 침지 기간 동안의 탈수량은 PEG 200에 침지한 경우보다 작았으나 최종적으로는 약 80%가 탈수되어 최종 탈수량은 더 많았다.

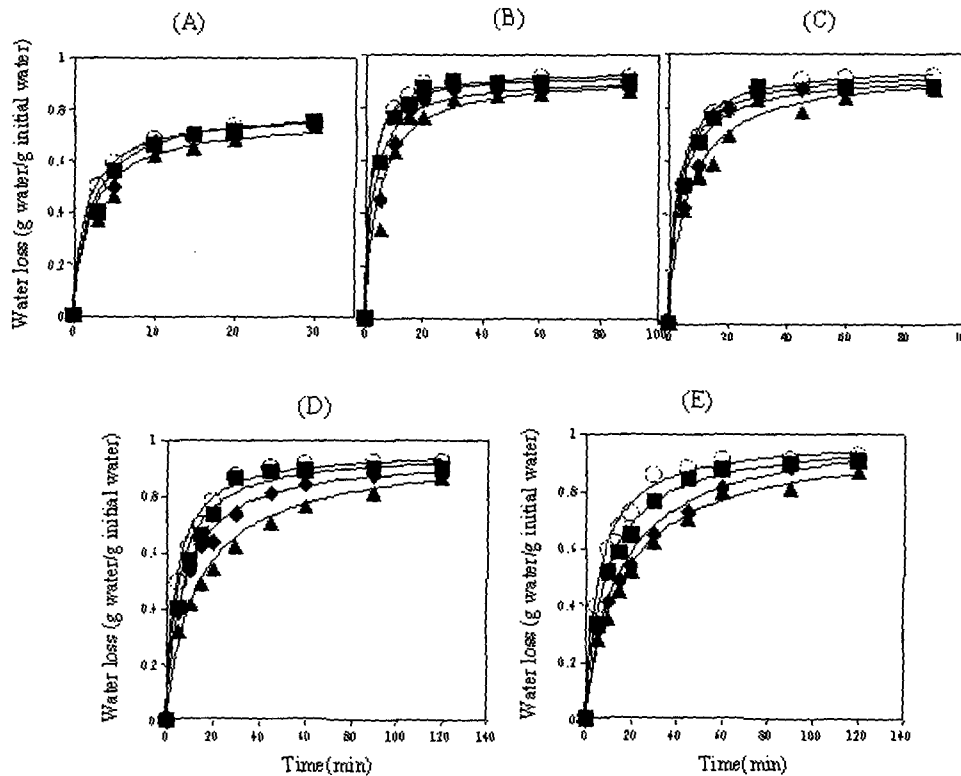


Fig. 1. Effect of molecular weight of polyethylene glycol (PEG) on water loss of potato immersed in 60% PEG solution.

Average molecular weight of PEG : (A) 200, (B) 600, (C) 1500, (D) 4000, (E) 6000.

Soaking temperature - ▲: 30℃, ◆: 40℃, ■: 50℃, ○: 60℃.

한편 분자량이 다른 각 PEG 용액에 침지시 온도의 영향을 보면 PEG 200의 경우, 탈수 속도는 침지 온도에 거의 영향을 받지 않았으나, 분자량이 클수록 침지 온도의 영향이 커 온도가 상승함에 따라 탈수 속도가 현저히 증가하였으며, 탈수가 완료되는 시점 즉, 평형 상태에 도달하는 시간도 단축되었다. 60°C에 침지했을 때의 최종 탈수량은 30°C에 침지한 경우에 비해 약 10% 증가하였다. 일반적으로 침지 온도가 높을수록 탈수량뿐 아니라 용질의 침투 깊이와 속도가 증가하는 것으로 알려져 있다<sup>10)</sup>. 이는 온도가 증가함에 따라 세포벽이나 세포막의 투과성 등이 증가하고 또한 수분의 확산 계수가 온도의 상승에 의해 증가하기 때문인 것으로 생각된다<sup>11)</sup>.

침지 용액을 구성하고 있는 용질의 농도를 증가시키면 수분의 확산 계수가 증가하며,<sup>10,11)</sup> 침지 용액에 용질을 추가하면 수분의 탈수 속도에 미치는 영향이 침지온도를 상승시킨 것과 같은 효과가 있다고 보고되어 있다<sup>12,13)</sup>. 분자량이 다른 PEG 용액을 0.1 M 농도로 조제한 후 두께 1 mm인 감자 절편을 침지하여 탈수한 결과를 Fig. 2에 나타내었다. PEG 200과 600의 0.1 M 용액에 침지했을 때는 거의 탈수가 되지 않았으나 같은 0.1 M 용액이라도 PEG 600 이상의 고분자 PEG인 경우 다소 오차는 있으나 탈수량은 PEG 평균 분자량이 증가할수록 거의 비례적으로 증가하는 경향을 보였다(Fig. 3). 일반적으로 저분자 용질인 경우, 삼투압은 몰농도에 비례한다는 사실로 미루어 본다면 동일 몰농도인 0.1 M 용액에 침지하였으므로 PEG 분자량의 크기에 상관없이 탈수 속도, 탈수량이 거의 일정해야

2. 침지 용액의 용질 농도의 영향

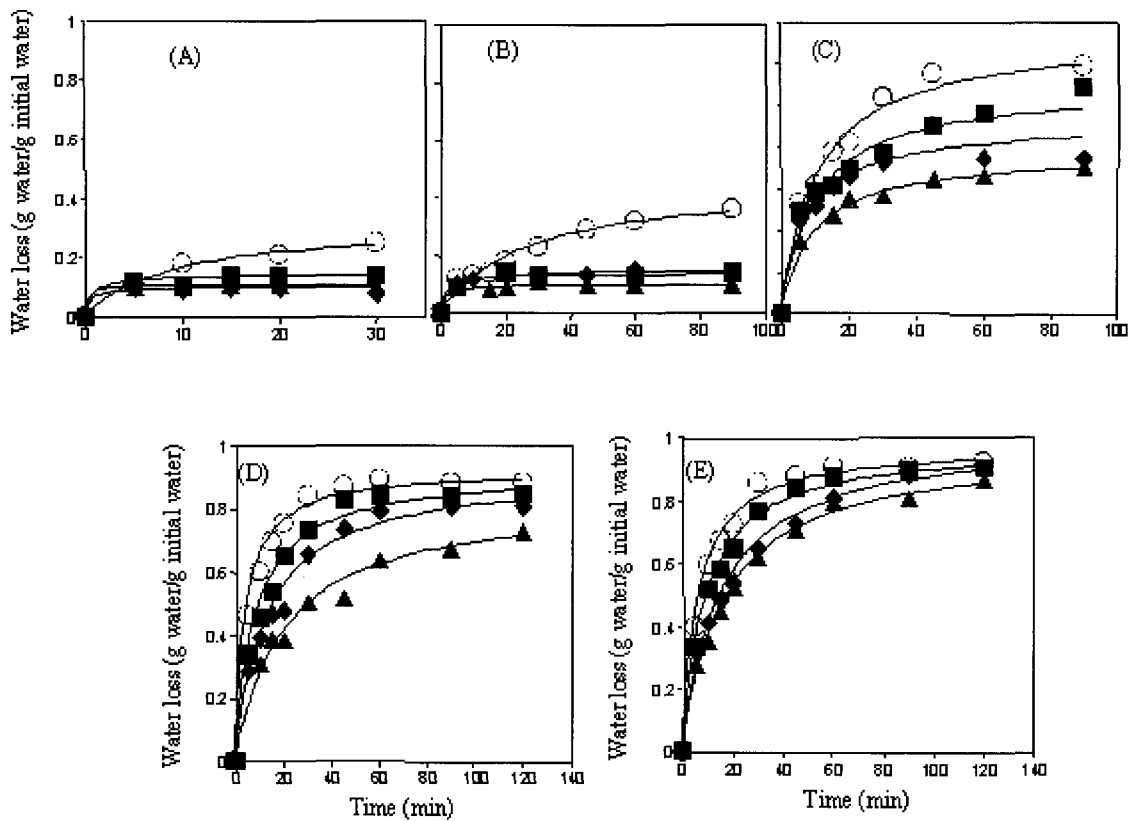


Fig. 2. Effect of molecular weight of PEG and temperature on water loss of potato immersed in 0.1 M PEG solution.

Average molecular weight of PEG : (A) 200, (B) 600, (C) 1500, (D) 4000, (E) 6000.

Soaking temperature - ▲ : 30°C, ◆ : 40°C, ■ : 50°C, ○ : 60°C.

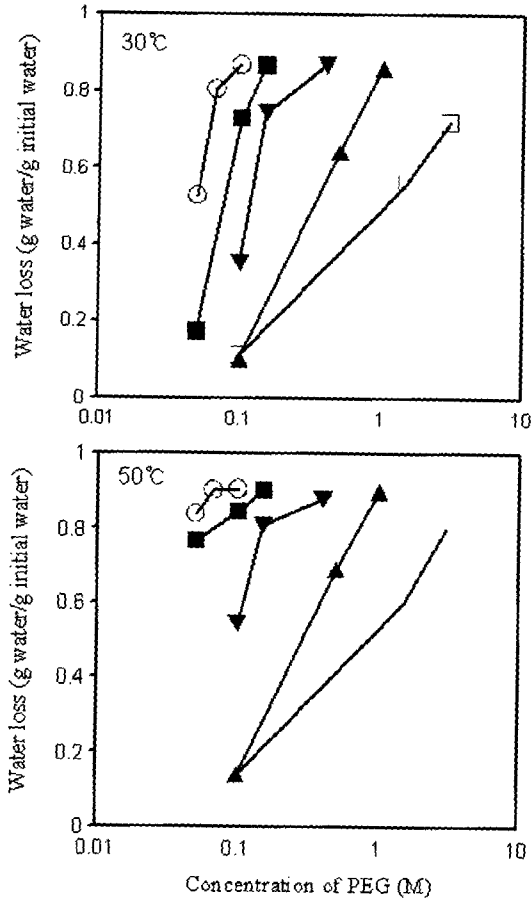


Fig. 3. Effect of PEG concentration on water loss of potato after 120 min soaking.

□ : PEG 200, ▲ : PEG 600, ▼ : PEG 1500, ■ : PEG 4000, ○ : PEG 6000.

할 것이다. 그러나 동일 몰랄 농도에서 탈수량이 분자량에 비례하여 증가한다는 것은 탈수 현상이 몰랄 농도에 비례하는 것이 아니라 중량 %에 비례한다는 것을 의미한다. Fig. 4에 동일 몰농도(0.1 M)와 동일 중량%(60%) 용액에 침지하였을 때 PEG의 분자량에 따른 탈수량을 비교하여 나타내었으며, 동일 중량 %일 때는 분자량에 거의 상관없이 탈수량이 일정하나, 동일 몰농도(0.1 M)일 경우에는 PEG의 분자량이 증가할수록 중량 %가 증가하면서 탈수량도 증가하였다. 이와 같은 사실로 미루어 볼 때 PEG와 같은 친수성 고분자 용액에서의 탈수 기작은 저분자 용액에서의 주 원인인 plasmolysis에 의한 삼투 현상에 의해서 라기 보다는 용질의 함침(impregnation)에 의한 cytorrhysis 현상

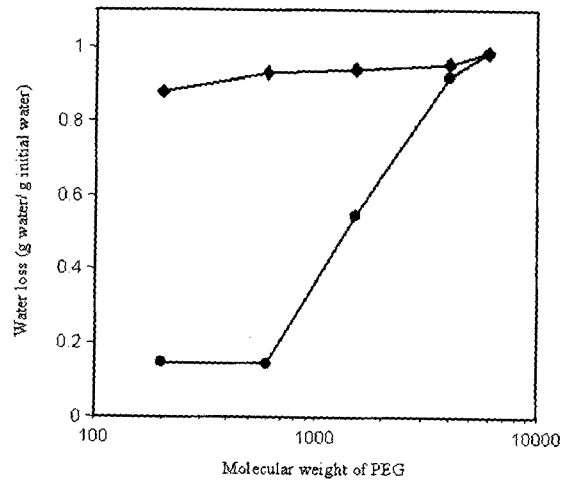


Fig. 4. Effect of molecular weight of PEG on the water loss at equilibrium.

Potato immersed in 0.1 M (●) and 60% (◆) solution at 50°C.

이 주 원인인 것으로 생각된다.

### 3. 침지에 따른 부피 및 형태의 변화

두께 1 mm의 감자 절편을 PEG 용액에 침지했을 때 탈수에 따른 부피 변화를 Fig. 5에 나타내었다. 3 M NaCl에 침지한 경우, 초기 부피 대비 40%의 부피 감소가 관찰되었고, 60% PEG 용액에 침지한 경우에는 70%에서 80%의 부피 감소가 관찰되었다. PEG 200과 4000의 경우, 부피의 감소 속도에 차이가 있었으며, PEG 200의 경우 PEG 4000보다 초기 부피 감소 속도는 더 빨랐으나, 최종 부피 감소율은 PEG 4000에 침지한 경우가 더 커서 탈수 메커니즘의 차이와 상관성이 있는 것으로 판단되었다. 즉, NaCl 용액과 PEG 200 용액인 경우에는 용질이 세포벽 내로 침투하여 plasmolysis를 일으키나 PEG 4000 용액에서는 용질이 세포 내부로 침투되지 않아 cytorrhysis에 의해 탈수되며, cytorrhysis에 의해 부피의 감소와 함께 시료의 모양이 변형되는 현상을 보였다. Fig. 5에서 보는 것과 같이 PEG 200과 4000의 부피 감소 속도는 침지 시간 60분에 역전되었다. 이와 같은 현상은 cytorrhysis와 관련이 있는 것으로 생각된다. 한편 NaCl 용액과 PEG 용액에 5시간 침지했을 때 감자 절편의 외형 변화를 Fig. 6에 나타내었다. NaCl에 침지한 경우, 초기 수분의 약 40%가 탈수되었으며, 외형은 변하지 않고 부피도 약 40%

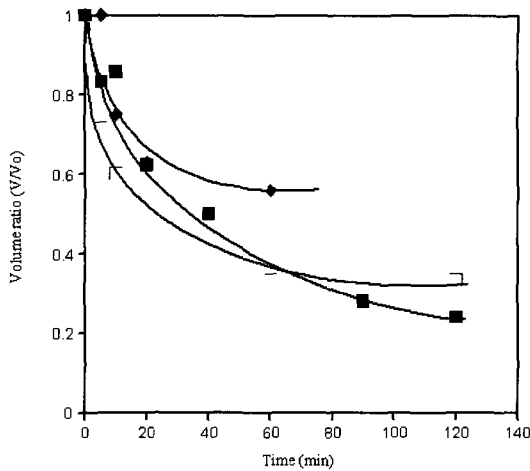


Fig. 5. Relative change in volume of potato during soaking in 60% PEG solutions and 3 M NaCl solution at 30 °C.

□: PEG 200, ■: PEG 4000, ◆: NaCl.

감소되었다. PEG 200인 경우에도 탈수량(79%)과 거의 동일하게 부피가 약 70% 감소되었다. 그러나 PEG 600인 경우에는 부피 감소 이외에 외형의 변화가 관찰되었으며, PEG 4000에 침지한 경우, 감자 절편의 부피가 약 80% 감소되는 동시에 외형이 심하게 비틀려서 전형적인 cytorrhysis 현상을 보였다.

4. 침지에 따른 고형분 함침량의 변화

각 분자량별로 조제한 60% PEG 용액에 두께 1 mm의 감자 절편을 침지했을 때 감자 절편의 고형분 증가 (solid gain)를 Fig. 7에 나타내었다. 30°C에서 침지한

Fig. 7(A)를 살펴보면 PEG 200일 때는 침지 20분 만에 약 10%의 고형분이 증가하였으며, PEG 400의 경우 침지 1시간 후에 약 5%의 고형분이 증가하였다. 그러나 PEG의 분자량이 600 이상일 때는 고형분이 전혀 증가하지 않았다. 침지 온도가 50°C일 때는 PEG 600에서도 약 2.5%의 고형분이 증가하였다. 고형분이 증가한다는 것은 용질이 세포 내부로 침투한다는 것을 의미하므로 PEG 600이 감자세포의 벽을 통과할 수 있는 경계 크기임을 알 수 있었다. 탈수량과 고형분 증가와의 관계를 Fig. 8에 나타내었다. PEG 200 용액에 침지한 경우, 수분 손실량에 비해 고형분 증가가 두드러진 반면 PEG 600의 경우 PEG 200보다 수분 손실량이 고형분 증가량보다 많은 현상을 보였다. PEG 4000의 경우, y축 상에 모든 점이 놓여 있는데 이는 용질이 세포 벽을 거의 침투하지 않는 것을 의미한다. Lazarides 등<sup>11)</sup>은 삼투 용액을 구성하는 용질의 분자 크기가 수분과 용질 침투의 확산 계수에 영향을 준다고 보고하였다. Lazarides 등<sup>11)</sup>은 dextrose equivalent(D.E.)값에 따른 dextrin 용액을 조제 후 감자를 침지했을 때 D.E.값이 50에서 38이 될 때까지는 수분의 확산 계수가 증가하였고 용질의 침투 확산 계수는 감소하였으나 D.E.값이 38에서 18이 될 때까지는 수분의 확산 계수가 감소하고 용질은 침투하지 않는 것으로 보고하였다. 본 연구에서도 dextrin의 D.E.값별로 50% 용액을 조제한 후 감자 절편을 침지했을 때 Fig. 9에 나타낸 것과 같이 D.E.값이 작아짐에 따라 탈수 효과가 떨어지고 용질의 침투량이 감소하는 현상을 확인하였으며, D.E. 100에서 D.E. 20까지는 감자 조직 내로 dextrin이 침투되지 않아 고형분이 증가하지 않았다. Lazarides 등<sup>11)</sup>

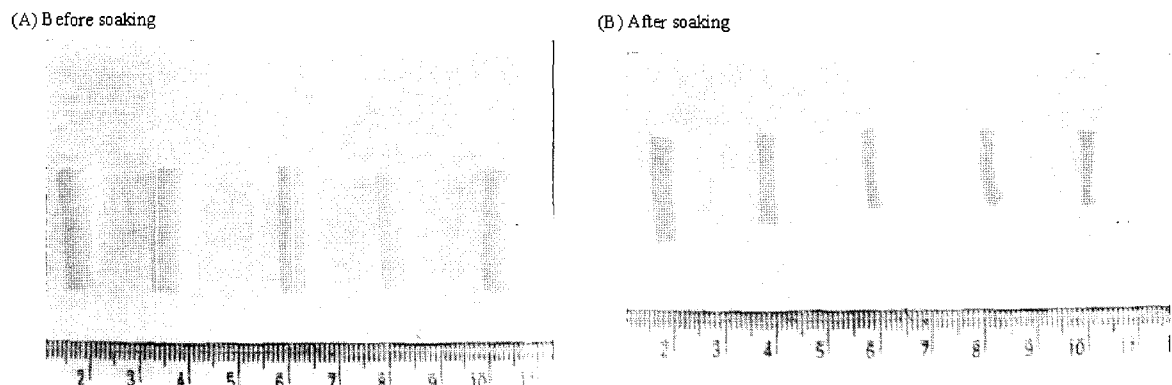


Fig. 6. Shape changes of potato when soaked in 60% PEG solution and 3 M NaCl solution at 30 °C. 1 : control; 2: 3 M NaCl solution; 3 : 60% PEG 200 solution; 4 : 60% PEG 600 solution; 5: 60% PEG 4000 solution.

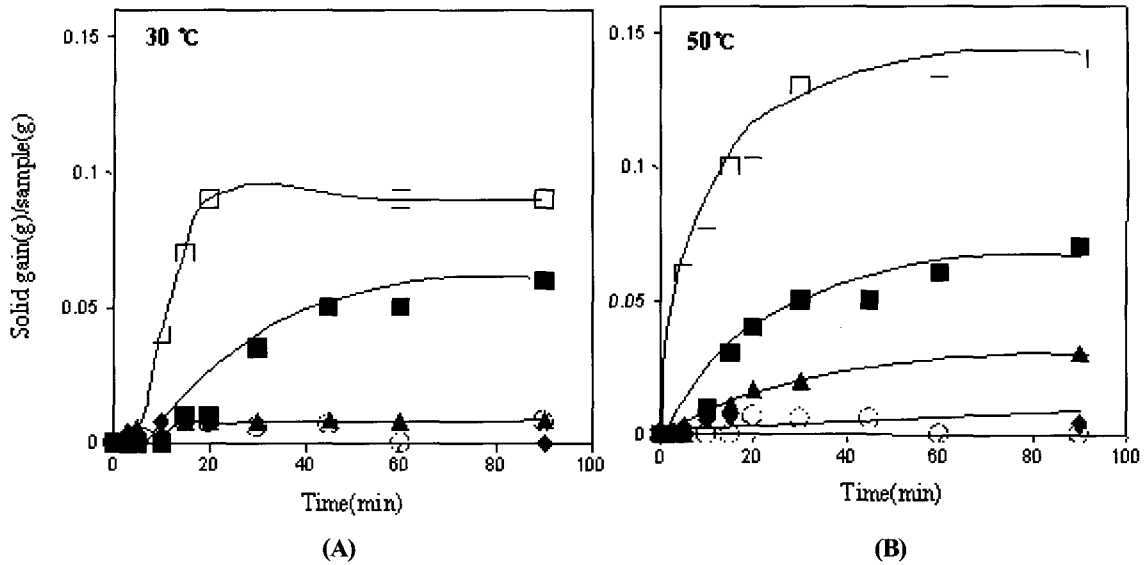


Fig. 7. Effect of molecular size of PEG on solid gain of potato immersed in 60% solution.

□: PEG 200, ■: PEG 400, ▲: PEG 600, ○ : PEG 1000, ◆: PEG 1500.

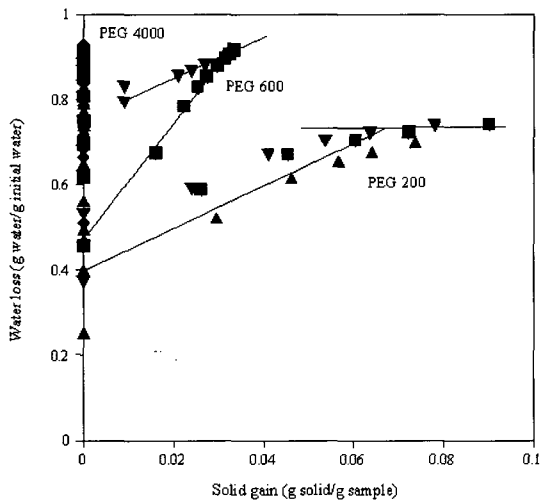


Fig. 8. Effect of molecular weight of PEG on the water loss/solid gain ratio of potato in 60 % PEG solution at various temperature.

▲: 30 °C, ▼: 40 °C, ■: 50 °C, ◆ : 60 °C.

은 수분 확산 계수가 감소하는 이유를 표피층에 용질이 쌓이기 때문으로 설명하였다. 본 연구에서는 PEG의 분자량이 클수록 탈수 효과가 좋은 것으로 나타나 (Fig. 1) Lazarides 등<sup>11)</sup>의 보고와는 상치되는 결과를 보였다. 이는 본 연구에 사용된 PEG는 다가 알콜의

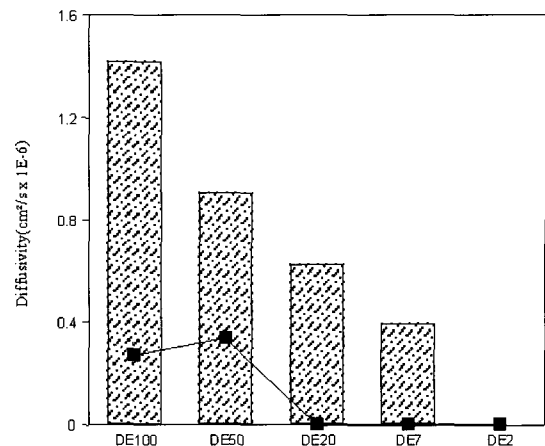


Fig. 9. Effect of D.E. value of dextrin on diffusivity of water (▨) and solid (■) in potato immersed in 50% solution at 50 °C.

일종으로서 친수성이 강한데 비해 Lazarides 등<sup>11)</sup>이 사용한 용질인 dextrin은 D.E.값이 작을수록(분자량이 클수록) 상대적으로 친수성과 용해도가 낮기 때문으로 생각된다.

### 요 약

두께 1 mm의 감자 절편을 분자량 200에서 6000까지

의 PEG용액에 침지했을 때 PEG의 분자량이 작을 수록 초기 탈수 속도가 빨랐으나 최종 탈수량은 PEG 분자량이 클수록 증가하여 PEG 6000인 경우 초기수분의 약 80%까지 탈수되었다. 감자 절편을 저분자 용액인 NaCl, PEG400 용액에 침지한 경우, 조직의 뒤틀림 현상은 나타나지 않고 plasmolysis가 일어나면서 탈수와 부피가 감소되는 반면, PEG 600 용액에 침지시부터 조직의 뒤틀림 현상이 동반된 탈수 현상이 나타났으며, 고분자 용액인 PEG 4000 용액에 침지한 경우 cytorrhysis 현상을 동반한 탈수와 부피 감소가 더욱 분명하게 관찰되었다. 초기 탈수 속도는 저분자 용액에 침지 시 더 빨랐으나 최종 탈수량은 고분자 용액에 침지 시 더 컸으며 탈수량이 역전되는 시기는 cytorrhysis가 일어나는 시기와 일치하였다. 따라서 고분자 용질의 고농도 용액에 시료를 침지하면 용질의 함침량은 적게 하면서 탈수량을 증가시킬 수 있음을 알 수 있었다.

### 참고문헌

1. Valle, del FR and Nickerson, JTR. Studies on salting and drying fish II, Dynamic aspects of the salting of fish. *J. Food Sci.* 32:218-224. 1967
2. Choi, DW and Shin, HH. Kinetic modeling of dewatering of potato slice when soaked in concentrated solution. *Korean J. Food Nutr.* 13:477-482. 2000
3. Favetto, G, Chirifie, J and Bartholomai, GB. 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, AL, 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 Technol.* 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, JE and Smyrel, TG. An evaluation of osmotic concentration of apple rings using corn syrup solid solutions. *Can. Inst. Food Sci. Technol. J.* 14:301-314. 1981
7. Yoo, MS. Texture Change and Rheological Model of Chinese Cabbage Tissue during Processing. Ph.D. Thesis, Yonsei University, Seoul, Korea. 1990
8. Raoult-Wack, AL. Recent advances in the osmotic dehydration of foods. *Trends in Food Sci. Technol.* 5:255-260. 1994
9. Crank, J. The mathematics of diffusion. 2nd ed., Clarendon Press, Oxford. 1979
10. Lenart, A and Flink, JM. Osmotic concentration of potatoes. II : Spatial distribution of the osmotic effect. *J. Food Technol.* 19:65-89. 1984
11. Lazarides, HN, Vassilis, G and Nikolaos, M. Apparent mass diffusivities in fruit and vegetable tissues undergoing osmotic processing. *J. Food Eng.* 31:315-324. 1997
12. Lenart, A and Flink, JM. Osmotic concentration of Potatoes. I - Criteria for the end-point of the osmotic effect. *J. Food Technol.* 19:65-89. 1984
13. Choi, DW and Shin, HH. A study of dewatering model of potato slice when soaked in concentrated solution. *Korean J. Food Nutr.* 12:582-587. 1999

(2006년 9월 14일 접수; 2006년 11월 29일 채택)