

## 당근 삼투압 건조시 물질 이동과 갈색화 반응에 미치는 효과

김명환

효성여자대학교 식품가공학과

### Mass Transfer during Osmotic Dehydration of Carrots and Its Effect on Browning Reaction

Myung-Hwan Kim

Department of Food Science and Technology, Hyosung Women's University, Kyeoungbuk

#### Abstract

Internal mass transfer during osmotic dehydration of carrots in sugar solutions was examined as a function of concentration, temperature and immersion time of those solutions using moisture loss, sugar gain, molality and rate parameter. Influence of osmotic dehydration and blanching on browning reaction of vacuum dried carrots(3% MC: wet basis) was also evaluated. Increasing the concentration and temperature of sugar solutions increased moisture loss, sugar gain, molality and rate parameter. Water loss and sugar gain were rapid in first 4 min and then levelled off. The rate of sugar gain and molality changes on temperature was significant in lower concentration(20° Brix) compared to higher concentration(60° Brix). The changes of rate parameter were affected by concentration than by temperature of sugar solutions. Moisture loss during osmotic dehydration using a sugar solution(60° Brix, 80°C) with 20 min immersion time was 55.7%. Effect of osmotic dehydration and blanching before vacuum dried to 3% MC(Wet basis) on browning reaction was significant. Minimum browning reaction during vacuum drying was carried out using pretreatments such as osmotic dehydration in sugar solution(40° Brix, 80°C) with 16 min immersion time(O.D.=0.09) and blanching with 12 min immersion time at 80°C(O.D.=0.31) compared to control(O.D.=1.59).

Key words: carrots, osmotic dehydration, mass transfer, browning reaction

#### 서 론

삼투압 건조는 수분활성도가 식품보다 낮은 삼투압 용액이나 분말속에 식품을 담구어서 행하는데, 이 때에 물질의 이동에 두 방향의 흐름이 생긴다. 한 흐름은 식품속의 수분이 삼투압 용액이나 분말속으로 확산되고, 다른 흐름은 삼투압 용액속의 용질이나 용해된 분말이 식품속으로 확산되는 것이다. 식품속의 수분과 삼투압 용액속의 용질의 이동은 삼투압 과정에서 있어서 수분의 손실과 용질의 흡수 정도에 따라 달라진다. 보다 안정한 건조제품을 얻기 위하여 삼투압 건조후 진공동결건조<sup>(1)</sup>, 진공건조<sup>(2)</sup> 또는 열풍건조<sup>(3)</sup>를 시킨다.

일반적으로 삼투압 건조중 수분 감소율은 삼투압 용액의 종류, 농도, 온도 및 pH, 침지시간, 삼투압 용액과 식품의 비, 식품의 두께와 표면적, 교반유무 등의 영향을 받는다. 그 중 삼투압 용액의 종류 및 농도와 침지온도에 따른 삼투압 Kinetics에 관한 연구가 많이 보고되고 있

다<sup>(4,5,6,7)</sup>. 삼투압 용액으로는 설탕용액(50~70° Brix)을 많이 쓰며, 물엿(dextrose equivalent 28)이나 과당 등도 이용된다<sup>(8)</sup>. 소금은 다른 삼투압 용액과 혼합하여 사육시 식품속의 수분제거를 증가시키는 반면 짠맛을 부여하는 결점이 있다<sup>(9)</sup>.

삼투압 건조의 장점은 열에 대한 색과 맛 손상을 최소화 시키고, 효소적 갈색화 반응에 대한 식품의 변색을 억제하여 건조시 변색방지 처리가 필요없으며, 신맛을 제거 시킴과 동시에 단맛을 증가시킨다<sup>(10)</sup>.

본 연구에서는 당근의 삼투압 건조중 설탕용액의 농도와 온도 및 침지시간에 따른 내부 물질 이동을 당근 내부의 수분손실, 설탕흡수, 몰탈농도, 속도 매개변수로써 조사하였으며, 설탕용액의 농도와 온도에 따른 변화를 이차 다항 회귀모형을 이용하여 예측하였다. 또한, 일반 데치기 후 진공건조 시킨 것과 삼투압 건조를 거친 후 진공건조 시킨 것을 대조구와 갈색화반응 정도를 비교하였다.

## 재료 및 방법

### 재료

1988년 수확한 수분함량 89.57%(wet basis)의 생당근(*Daucus Carrot L. var sativa D.C.*; 홍심 오촌)을 구입하여 세척과 박피를 한 후 절단기(Stephan universal machine UM-12 with attachments S-12)를 이용하여 11×11×11mm 크기의 정육면체로 자른 다음 사용하였다. 삼투압 건조에 사용되어진 설탕은 시판용을 사용하였다.

### 삼투압 건조

순환식 항온 수조(K.M.C. 1205W, 유량: 5l/min)을 이용하여 500ml 유리병에 30g의 생 당근을 150ml의 설탕용액(20, 30, 40 및 60° Brix)에 넣은 후 60, 70 및 80°C에서 첫번째 2분에서부터 마지막 20분까지 침지시켰다.

### 측정방법

수분 함량: Vacuum drying oven(Yamata vacuum drying oven, DP-41)을 이용하여 27in. Hg 진공도, 70°C에서 24시간 건조시켜 수분함량을 측정하였다.

갈변도: Hendel 등<sup>(11)</sup>의 방법을 변형하여 측정하였다. 같은 온도(80°C)와 시간조건(2~20min)에서 데치기를 한 당근과 삼투압 건조를 한 당근을 vacuum drying oven을 이용하여 수분도 3%(wet basis)까지 건조후 분말화 시킨 건조분말 시료를 1.3g 취하여 40ml의 증류수를 가한 다음 10% trichloroacetic acid 용액 10ml를 가하여 실온에서 2시간 방치 후 여과하여 분광광도계(Shimadzu double beam spectrophotometer, UV-200S)를 이용하여 420nm에서 흡광도로 측정하였다.

### 삼투압 건조의 Kinetics

삼투압 건조중의 수분 손실과 설탕 흡수는 다음과 같은 가정하에서 Magee 등<sup>(12)</sup>의 중량 측정방법에 의해서 구하였다. 당근 내부의 용질이 삼투압 용액에 대하여 확산 작용이 일어나지 않으며 삼투압 용액의 농도는 균일하다.

수분손실(WL)과 설탕흡수(SG)는 다음과 같은 공식에 의하여 구하였다.

$$WL = \frac{(WWO) - (TW - WS)}{\text{initial wet carrot}} \times 100$$

[g water loss/100g wet carrot]

$$SG = \frac{(WS - WSO)}{\text{initial wet carrot}} \times 100$$

[g sugar gain/100g wet carrot]

한편, WWO=초기 수분(g)

WSO=초기 고형분(g)

TW=삼투압 건조후 당근의 무게(g)

WS=삼투압 건조후 고형분(g)

속도 매개변수(K)는 당근 내부에 남아 있는 수분속에 녹아 있는 설탕의 몰랄농도(molality)에 기초를 두어 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{Molality} = K t^{0.5}$$

한편: Molality =

$$\frac{(\text{Sugar gain})_{t=t}}{(\text{Water Content})_{t=0} - (\text{Water loss})_{t=t}} \times \frac{1000}{\text{MW of sugar}}$$

[moles/kg water]

t=immersion time(min)

## 결과 및 고찰

### 설탕용액 농도효과

80°C 설탕용액에서 농도(20 또는 60° Brix)에 따른 당근의 수분손실과 설탕 흡수는 Fig. 1과 같다. 수분손실은 20° Brix의 농도에서는 초기 4분 동안에 빠르게 이루어진 후 그 후에는 거의 변화가 없어 20분간 침지시 18.4%의 수분손실인 반면, 60° Brix의 농도에서는 그 후에도 계속적으로 이루어져 20분간 침지시킨 결과 55.7%의 수분이 손실되었다.

이와 같은 현상은 설탕용액 농도에 따른 삼투압력차, 침지시간에 따른 삼투압력의 변화 및 설탕의 흡착, 흡수에 의한 당근 표면 및 내부의 수분이동 저해 등을 들 수 있다. 반면에 설탕흡수는 20° Brix 나 60° Brix의 설탕 농도에 관계없이 초기 4분 정도가 지난 후에는 거의 변화가 없었다. 이는 건조 초기에 당근 표면에 설탕분자들의 흡착에 의한 것으로 보고되고 있다.<sup>(12)</sup>

### 설탕용액 온도효과

30° Brix 설탕용액에서의 용액온도(60, 70 또는 80°C)에 따른 당근의 수분손실과 설탕흡수는 Fig. 2에 나타난 바와 같이 온도가 증가함에 따라 수분손실 속도와 설탕흡수 속도가 증가함을 알 수 있다. 그것은 삼투압 건조시 표면 이동속도 보다 내부 이동속도가 삼투압 건조를 조절함

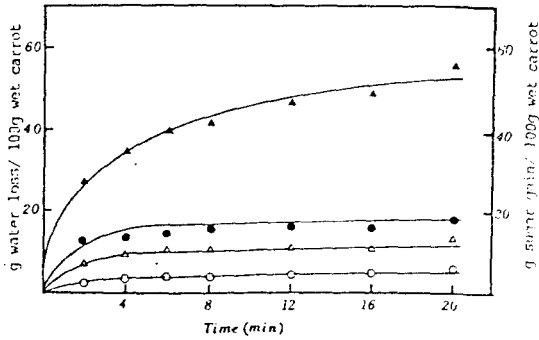


Fig. 1. Water loss and sugar gain as a function of immersion time and °Brix at 80°C.

●, ▲ Water loss with 20 and 60° Brix sugar solution  
○, △ Sugar gain with 20 and 60° Brix sugar solution

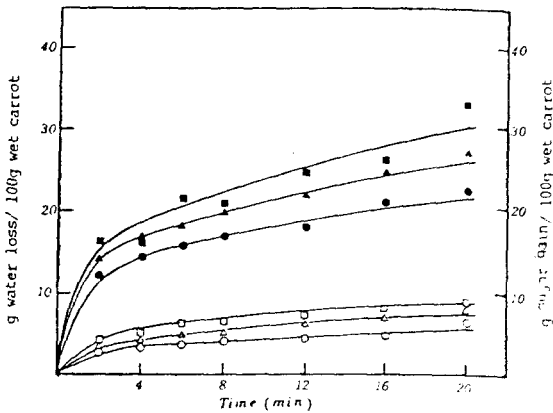


Fig. 2. Water loss and sugar gain as a function of immersion time and temperature at 30° Brix sugar solution.

●, ▲, ■ Water loss at 60, 70 and 80°C  
○, △, □ Sugar gain at 60, 70 and 80°C

을 뜻한다<sup>(12)</sup>. 수분 손실율은 설탕 농도에 관계없이 온도 증가에 따라 전반적으로 증가하였으나(Fig. 3) 설탕 흡수율은 고농도(60° Brix)보다 저농도(20° Brix)에서 온도의 증가에 따라 큰 변화를 나타내었다(Fig. 4). 상대적으로 온도에 따른 당근 내부의 설탕 몰랄농도 증가율은 저농도에서 고농도 보다 증가 현상이 현저하였다(Fig. 5).

설탕용액 농도와 온도에 따른 속도 매개변수의 변화

당근 내부의 설탕 몰랄농도는 삼투압 건조과정의 Kinetics 를 보다 정확히 나타낼 수 있다. Fig. 6에 나타

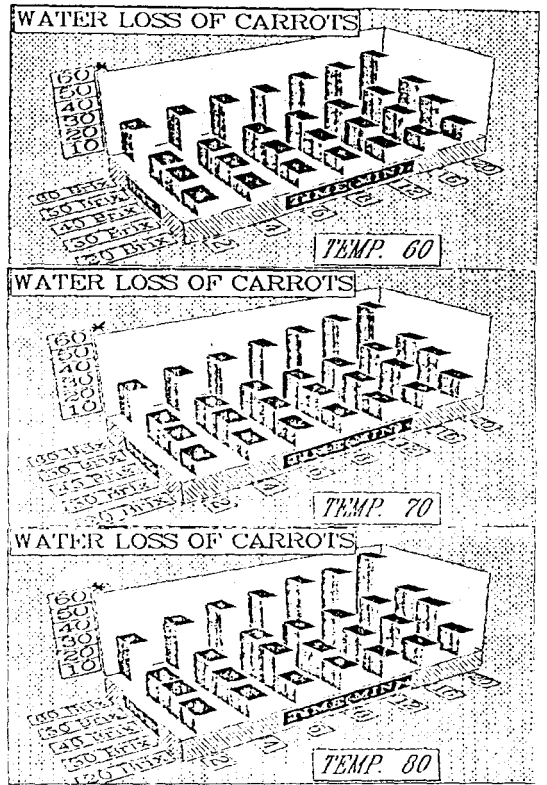


Fig. 3. Water loss as a function of immersion time, Brix and temperature of sugar solution.

\* g water loss/100g wet carrot

난 속도 매개변수, K는 당근 내부의 설탕 몰랄농도와 침지시간의 평방근을 도식하여 그 기울기 값으로부터 구하였는데 높은 상관계수(0.996 > r > 0.961)를 가진 직선식으로 나타났다. 공식에서의 침지시간의 평방근 이용은 앞에서 서술한 바와 같이 침지 초기에 당근 내부의 급격한 수분의 손실과 설탕의 흡수 증가에 따른 설탕 몰랄농도의 급격한 증가현상 때문이다. Conway<sup>(7)</sup> 등의 10°C 설탕용액 온도 증가는 10° Brix 농도 증가와 같다는 보고와는 달리 Fig. 6에 나타난 바와 같이 설탕용액 온도 보다는 농도에 의한 효과가 컸다.

이차 다항 회귀 모형을 이용하여 삼투압 건조시 설탕용액 농도(20° Brix < A<sub>1</sub> < 60° Brix)와 온도(60°C < A<sub>2</sub> < 80°C)의 독립변수에 따른 당근 내부의 수분손실, 설탕흡수 및 설탕 몰랄농도 변화를 침지시간 20분을 기준으로 Table 1과 같은 회귀방정식으로써 예측하였으며(0.9904 > R<sup>2</sup> > 0.9863), 또한 설탕용액 농도(20° Brix < A<sub>1</sub> < 60° Brix)와 온도(60°C < A<sub>2</sub> < 80°C)의 독립변수에

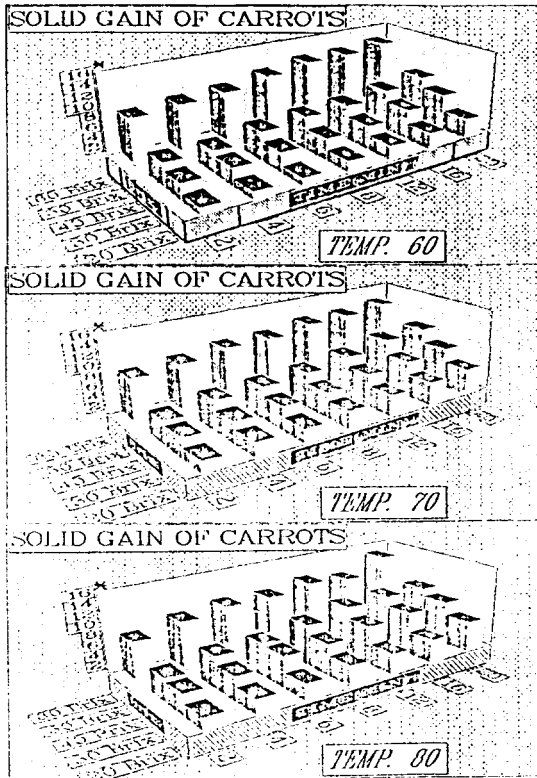


Fig. 4. Sugar gain as a function of immersion time, Brix and temperature of sugar solution.  
\* g sugar gain/100g wet carrot

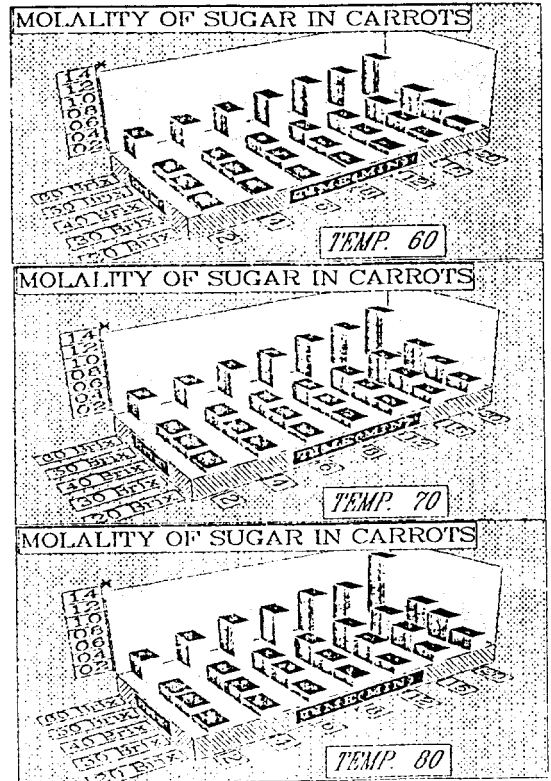


Fig. 5. Molality of sugar as a function of immersion time, Brix and temperature of sugar solution.  
\* Sugar moles/kg water

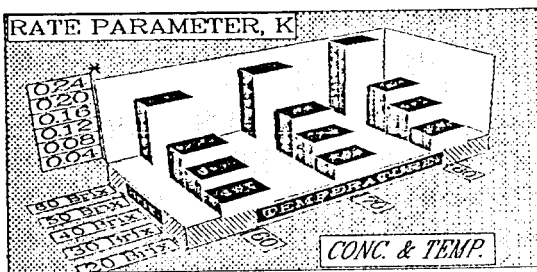


Fig. 6. Rate parameter, k, as a function of Brix and temperature of sugar solution.  
\* Sugar moles/kg water min<sup>0.5</sup>

따른 속도 매개변수 변화를 예측하였다( $R^2=0.9983$ ).

**갈색화 반응**

80°C에서 당근을 설탕용액(20, 30, 40 또는 60° Brix)로 삼투압 건조를 시킨 것과 80°C에서 순수한 물로 데치

기 시킨 것을 진공건조기로 27in. Hg, 70°C에서 3% 수분(wet basis)까지 건조시킨 후 420nm에서 O. D. 값을 침지 시간에 따라 비교한 바(Fig. 7) 설탕용액을 이용한 삼투압 건조가 일반적인 데치기 보다 진공건조에 갈색화 반응을 억제시킨다는 것을 알 수 있다. 80°C의 데치기 경우는 12분 침지 한 후 진공건조 시켰을 때 갈색화 반응이 가장 적게 일어났으며(O. D. =0.31), 또한 침지시간이 길어짐에 따라 특히 20, 30 및 40° Brix 설탕용액에서 갈색화 반응 증가 현상이 현저하였다. 고농도(60° Brix)가 저농도(20, 30 또는 40° Brix)에 비하여 갈색화 정도가 높았으며, 40° Brix의 설탕용액에서 16분간 침지 시킨 후 진공건조 시킨 것이 가장 적은 갈색화 반응(O. D. =0.09)을 나타내었다. 반면 대조구는 진공건조 중 높은 갈색화 반응을 나타내었다(O. D. =1.59).

Table 1. Regression coefficient of second degree polynomial for four response variables as a function of 'Brix and °C of sugar solution

	B <sub>1</sub> a)	B <sub>2</sub> a)	B <sub>3</sub> a)	B <sub>4</sub> a)	B <sub>5</sub> a)	B <sub>6</sub> a)	R <sup>2</sup>
Water loss 1)b)	35.3574	16.2603	4.6373	-2.9776	0.2025	1.8323	0.9897
Sugar gain 2)b)	10.0403	4.2007	0.5914	-0.6182	-0.1783	-0.3386	0.9904
Malality 3)b)	0.5357	0.3907	0.1054	0.0594	0.0105	0.0710	0.9863
Rate parameter 4)	0.1160	0.0797	0.0195	0.0052	-0.0005	0.0120	0.9983

1) g water loss/100g wet carrot  
 2) g sugar gain/100g wet carrot  
 3) sugar moles/kg water  
 4) sugar moles/kg water min<sup>0.5</sup>

or  $Y = B_1 + B_2x_1 + B_3x_2 + B_4x_1^2 + B_5x_2^2 + B_6x_1x_2$   
 where,  $x_1 = \frac{A_1 - 40}{20}$ , A<sub>1</sub>: 'Brix of sugar solution  
 $x_2 = \frac{A_2 - 70}{10}$ , A<sub>2</sub>: °C of sugar solution  
 b) Immersion time: 20min

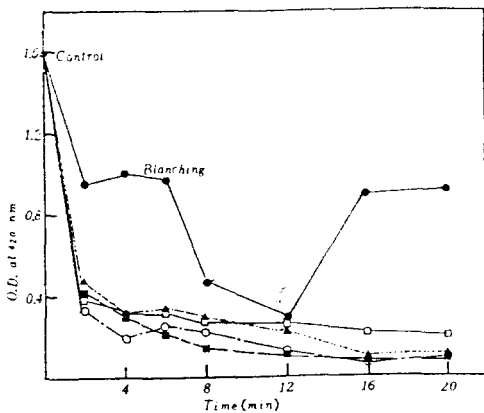


Fig. 7. Effect of blanching and HTST osmotic dehydration at 80°C on browning reaction for carrot dried to 3% moisture(wet basis) using a vacuum drier with 70°C.

▲ 20° Brix sugar solution    ○ 40° Brix sugar solution  
 ■ 30° Brix sugar solution    □ 60° Brix sugar solution

요 약

삼투압 건조중 설탕용액의 농도와 온도 및 침지시간에 따른 내부물질 이동을 당근 내부의 수분손실, 설탕흡수, 몰랄농도 및 속도 매개변수로써 조사하였다. 또한, 삼투압 건조와 데치기가 3% 수분(wet basis)까지 진공건조시 각 공정의 갈색화 반응에 미치는 효과를 평가하였다.

용액 농도와 온도가 증가함에 따라 수분손실, 설탕흡수, 몰랄농도 및 속도 매개변수가 증가하였다. 수분손실과 설탕흡수는 초기 4분간 침지과정에서 빠르게 이루어진 후 증가현상이 둔화되었다. 용액에 따른 설탕 흡수율과 몰랄농도를 변화는 고농도(60° Brix)보다 저농도(20°

Brix)에서 현저하였다. 속도 매개변수, K는 설탕용액의 온도요인 보다 농도에 더 영향이 컸으며, 설탕용액(60° Brix, 80°C)에서 20분간 침지후 55.7%의 수분손실이 되었다.

3% 수분(wet basis)로 진공건조시 갈색화 반응에 대한 삼투압 건조와 데치기의 효과는 현저하였다. 대조구(O.D.=1.59)와 비교하여 최소 갈색화 반응은 전처리 공정으로써 설탕용액(40° Brix, 80°C)에서 16분간 삼투압 건조 후 진공건조시 O.D.=0.09 이었으며, 80°C에서 12분간 브랜칭 후 진공건조시 O.D.=0.31 이었다.

문 헌

- Hawkes, J. and Flink, J.M.: Osmotic concentration of fruit slices prior to freeze dehydration. *J. Food Proc. Preserv.*, 2, 265(1978)
- Dixon, G.M. and Jen, J.J.: Changes of sugar and acids of osmovac dried apple slices. *J. Food Sci.*, 42, 1126(1977)
- Nanjundaswamy, A.M., Radhakrishnaiahsetty, G., Balachandran, C., Soroja, S. and Murthyreddy, K.E.: Studies on development of new categories of dehydrated products from indigenous fruits. *Indian Food Packer.*, 22, 91(1978)
- Andreotti, R., Tomasicchio, M. and Macchiavelli, L.: Disidratation parziale della frutta per osmosis. *Industria Conserve.*, 58, 90(1983)
- Lenart, A. and Flink, J.M.: Osmotic concentration of potato. 1. Criteria for the end point of the osmosis process. *J. Food Technol.*, 19, 45(1984)
- Lerici, C.R., Pinnavaia, G., Dalla Rosa, M. and

- Mastrocola, D. : Applicazione dellosmosi diretta nella disidratazione della frutta. *Industrie Alimentari.*, **3**, 184(1983)
7. Conway, J., Castaigne, F. and Vovan, X. : Mass transfer considerations in the osmotic dehydration of apples. *Can. Inst. Food Sci. Technol.*, **16**, 25(1983)
8. Lerici, C.R., Pinnavaia, G., Dalla Rosa, M. and Bartolucci, L. : Osmotic dehydration of fruit: Influence of osmotic agents on drying behavior and product quality. *J. Food Sci.*, **50**, 1217(1985)
9. Contreras, J.E. and Smyl, T.G. : Anevaluation of osmotic concentration of apple rings using corn syrup solidss solutions. *Can. Inst. Food Sci. Technol.*, **14**, 310(1981)
10. Pongting, J.D. : Osmotic dehydration of fruits recent modifications and applications. *Process Biochem.*, **12**, 18(1973)
11. Hendel, C.E., Bailey, G.F. and Taylor, D.H. : Measurement of non-enzymatic browning of dehydrated vegetable during storage. *Food Technol.*, **4**, 344(1950)
12. Magee, T.R.A., Hassaballah, A.A. and Murphy, W. R. : Internal mass transfer during osmotic dehydration of apple slices in sugar solutions. *Ir. J. Fd. Sci. Technol.*, **7**, 147(1983)

(1989년 1월 20일 접수)