

## 반응표면분석법에 의한 당근의 삼투건조공정의 최적화

윤광섭 · 최용희\*

대구효성가톨릭대학교 식품공학과, \*경북대학교 식품공학과

### Optimization for the Process of Osmotic Dehydration of Carrots using Response Surface Methodology

Kwang-Sup Youn and Yong-Hee Choi\*

Department of Food Science and Technology, Hyosung Catholic University,

\*Department of Food Science and Technology, Kyungpook National University

#### Abstract

A three-variable and three-level design analyzed by response surface methodology, was used to determine optimum conditions for osmotic dehydration of carrots. Effects of immersion temperature, concentration and time on various responses were studied. Optimization of the process was conducted using the combination of the effects of carotene contents of processed carrots, moisture content and color difference ( $\Delta E$ ). The higher temperature and concentration were more osmotic effects and it was dependent on concentration by temperature and time. The regression models showed significant lack of fit ( $P > 0.05$ ) and were highly significant with satisfying values of  $R^2$ . To optimize osmotic dehydration, based on surface response and contour plots, the individual contour plots were superimposed for the response variables. The optimum conditions for this process were 72°C, 46°Brix, 15 min., 300  $\mu\text{g/g}$  carotene content, 72% moisture content, and 10-12 values of color differences, respectively.

Key words: carrot, osmotic dehydration, RSM

#### 서 론

식품에 있어서 건조는 수분함량이 많은 식품에서 수분을 제거하여 미생물 및 효소에 의한 부패나 변질을 방지하여 저장성이나 수송성을 부여함은 물론 새로운 식품의 개발에 있어서도 그 이용성이 확대되었다. 건조방법으로는 천일건조를 비롯하여 열풍건조가 있으며, 최근 들어 건조제품의 산업화로 인하여 동결건조, 진공건조, 마이크로파 및 원격외선 등 방법이 다양화 되고 이에 따른 여러 가지 제품이 개발되고 있다 (식품기술, 1992).

삼투건조는 채소나 과일같은 식품을 고농도의 용액에 침지함으로써 식품속에 존재하는 수분을 제거하는 과정으로(Lenart와 Flink, 1984) 과일이나 채소에서 동결(Biswal *et al.*, 1991), 진공(Dixon *et al.*, 1976), 그리고 열풍건조 전처리로(이 등, 1989) 혹은 새로운 제품

개발의 목적으로 많이 이용되고 있으며, 삼투건조의 장점은 열에 의한 색과 맛의 손상을 최소화하고 효소적 산화갈변에 의한 변색을 억제하여 sulfur dioxide와 같은 화학처리가 필요없으며, 신맛을 제거시킴과 동시에 단맛을 증가시키거나 신맛과 단맛을 동시에 증가시키므로서 기호성을 향상시키고(Farkas와 Lazar, 1969; Dixon과 Jen, 1977) 영양소의 파괴를 줄이고 건조시간을 단축시켜 에너지효율을 증가시킨다(Islam과 Flink, 1982).

소득이 증가하고 생활 수준이 향상됨에 따라 생활 패턴이 점차 서구화, 다양화하고 있어 instant식품의 소비증가와 함께 부재료로 첨가되는 당근은 2년근으로 carotene에 의해 황색이나 등황색을 띠는데 당근이 지니는 등황색의 색소는 vitamin A의 전구물질로 알려진  $\beta$ -carotene으로서 타 채소류에 비해 그 함량이 매우 높아 항산화효과, 항암작용 및 성인병 예방등의 기능을 가지고 있다고 알려져 있다(Glenn, 1982; Desrosier, 1976).

식품가공 공정의 최적화는 생산비와 수율면에서 추

Corresponding author: Yong-Hee Choi, Department of Food Science and Technology, Kyungpook National University, Taegu, 702-701, Korea

구되어 왔으나 고품질의 식품을 생산하기 위한 공정상의 최적화를 위해 식품의 물리화학적 성질 및 이동현상에 대한 예측모델의 개발 등 식품의 품질측면을 고려한 system이 필요하다(Liska와 Marion, 1985). 또한, 최적 건조 조건의 구명을 위한 최적화의 기법은 수학적 프로그래밍 기법, 확률적 실험 기법, 도해적 방법, 인공지능적 방법 등이 있으며 그 중에서 도해적 방법은 적절한 실험 계획법(박, 1991)을 수립한 후 반응표면분석법(Mayers, 1975)이라는 분석기법을 이용하여 최적화를 이룰 수 있다. 중심 합성법이나 회전 계획법, 요인 배치법, 일부 실시법등 실험 계획법에 관한 연구가 있으며(Mullen과 Ennis, 1985, 1979), 당근의 건조공정을 반응표면분석법으로 최적화하여 그 결과를 최적 회귀식으로 나타낸 보고가 있으며(Mudahar *et al.*, 1989), 관능검사를 실시한 결과를 반응표면분석법에 적용하여 최적조건을 찾고자 한 보고가 있었으며(Henica, 1982), 그 외 peeling 공정이나 건조공정 그리고 puffing에 적용하여 최적화를 시도하는 등 많은 연구(Floros와 Chinnan, 1987; King과 Zall, 1992; Torreggiani *et al.*, 1995)가 있으나 국내에서는 활발하지 못한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 당근의 건조전 전처리로 삼투건조를 행하여 최적조건을 수립하고, 삼투공정시 건조효율 및 품질변화를 예측하는 모형식을 컴퓨터를 이용한 반응표면분석 기법의 최적화를 통하여 얻고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 재료

인스턴트식품에 첨가되는 부재료로써 많이 쓰이는 당근을 이용하였다. 1994년 수확한 생당근(*Daucus Carrot L.*, 黒田五寸)을 수세한 후 박피하여 냉동보관하면서 필요시마다 0°C 이하에서 해동하여 5×0.5 cm의 cylinder 형태로 절단하여 사용하였다.

### 삼투건조

Agent로써 sucrose를 이용하여 각각 그 농도를 20, 40, 60°Brix 로 조성한 후 시료와 용액의 담금비율을 1:5 (W/V)로 하여 60, 70, 80°C에서 초기부터 20분까지 연속적으로 침지시킨 후 몇 초간 세척하여 시료 표면에 부착된 sucrose를 제거한 후 여과지를 이용하여 표면수분을 제거하여 분석을 행하였다.

### 동결건조

각 시료를 Deep freezer (New Brunswick Scientific Co., England)를 이용하여 -55°C에서 24시간 동안 동결시킨 후 동결건조기(Pirani 1001, Edwards Co., England)를 사용하여 3.5×10<sup>-1</sup> mbar, -55°C에서 24시간 동안 동결건조하였다.

### 수분함량

진공건조기(OVL-570, Gallen Kamp Co., England)를 이용하여 70°C, 69 mmHg 에서 24시간 건조시켜 수분함량으로 결정하였으며 대조구의 수분함량은 92.46%였다.

### Carotene의 정량

AOAC (1990)법에 따라 carotene을 정량하였다. 즉, 시료를 잘 마쇄한 후 hexane과 acetone 혼합액(6:4)을 가해서 추출을 반복 조작한 다음 methanol을 가해 glass filter로 여과하여 색소를 완전히 추출하였다. 증류수를 가해 추출액을 분리한 다음 상등액을 취하여 spectrophotometer (CE393, CECIL Instrument Co., England)를 이용하여 436 nm에서 흡광도를 측정하여 β-carotene을 표준물질로 하여 정량하였다. 흡광도와 carotene 함량과의 관계를 회귀식으로 도출한 결과 R<sup>2</sup>는 0.9960였다.

### 색도변화

색차계 (Chromameter, Minolta Co., CR200, Japan)를 사용하여 L값 (whiteness), a값 (redness), b값 (yellowness)과 전반적인 색차 ΔE로 나타내었다.

### 실험계획 및 통계처리

반응표면분석법을 이용해서 삼투건조공정의 최적화를 실시하고 이차식 형태의 반응 모형을 결정하기 위해 실험계획법중의 한가지인 fractional factorial design (Floros와 Chinnan, 1987)에 의하여 실험을 설계하였다.

$$Y_n = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \beta_{ij} X_i X_j + \epsilon$$

반응표면 모형으로는 일반적으로 적은 오차 한계내에서 간편한 식으로 표현되는 실용적인 식인 2차 회귀모형을 적용하였다. 여기서 Y는 종속변수, X<sub>i</sub>는 독립변수, k는 독립변수의 개수이며 β<sub>0</sub>, β<sub>i</sub>, β<sub>ij</sub>는 각각 중심점에서의 회귀계수, 선형계수 및 2차의 interaction 계수이다. 본 연구에서는 삼투건조시 침지온도와 농도 그리고 시간의 3개의 독립변수를 3 수준으로하는 실

험영역을 설계하여 Table 1과 같이 설계하였다. 삼투 건조시 품질특성에 관련된 반응변수( $Y_n$ )로는 삼투 후 수분함량( $Y_1$ ), carotene 함량( $Y_2$ ) 그리고 건조후의 색차( $Y_3$ )로 하였다. 반응표면은 당근의 삼투건조시 건조효율을 나타내는 수분 함량과 품질지표로써 carotene의 함량을 제한 요소로 하여 SAS(Statistical Analysis System)의 RSREG procedure를 사용하여 삼투건조시 효율이 최대가 되게 하는 최적조건을 설정하는 최적화를 시도하였다.

## 결과 및 고찰

### 삼투건조시 품질의 변화

수분함량은 온도나 농도 그리고 시간이 증가함에 따라 약 40%의 수분의 감소를 나타내어 건조 전처리 공정으로 활용 가능함을 보여주었는데 이는 윤과 최

(1996)가 사과와 삼투건조시 보고한 결과와 유사하였다. Carotene 함량도 온도와 농도 그리고 시간이 증가함에 따라 감소 하였으며, 70°C 근처에서 삼투처리한 당근이 다른 온도에서의 처리한 것보다 낮은 값을 보였는데 이것은 건조가 많이 이루어져 carotene의 손실도 많은 것으로 생각된다. 색의 변화를 나타내는 전반적 색차( $\Delta E$ )는 갈변도와 유사한 경향으로 삼투건조 조건에 따라 큰 차이를 보이지 않았으며 건조 후에는 L값은 증가하고 a값과 b값은 낮은 값을 보였는데 이것은 건조가 진행됨에 따라 탈색됨을 보여준다고 할 수 있다. 고농도에서의 삼투처리가 낮은 값을 보여 고농도에서 용질의 이동이 건조시 색의 변화를 억제하여 외관적인 품질손상을 억제함을 볼 수 있었는데 Ponting *et al.* (1966)은 고농도일수록 갈변의 원인이 되는 polyphenoloxidase 활성을 억제하는 효과가 있어 갈변이 억제된다고 보고하였다.

**Table 1. Coding of levels of independent variables used in developing experimental data for optimization of the process for osmotic dehydration of carrots**

Independent variables	Symbols		Levels	
	Uncoded	Coded	Uncoded	Coded
Immersion Temperature (°C)	T	X1	60	-1
			70	0
			80	1
Immersion concentration ("Brix)	C	X2	20	-1
			40	0
			60	1
Immersion time (min.)	t	X3	10	-1
			15	0
			20	1

### 삼투건조공정의 최적화

삼투건조 공정의 최적화를 수행하기 위하여 Table 2의 결과를 이용하였고, 최적의 공정조건을 기 위해서 침지온도, 농도 및 시간을 변수로하여 반응표면분석을 행한 결과 2차 회귀모델에 적합하여 얻은 회귀계수 값은 Table 3과 같다. 이들 회귀계수를 이용하여 각 반응변수의 예측과 반응표면을 형성할 수 있었다.

각 반응변수에 미치는 독립변수의 영향은 Table 4에 나타내었으며 carotene 함량이나 수분함량 그리고 건조후의 색차( $\Delta E$ ) 모두에 침지액의 농도가 가장 중요한 요소로 작용함을 알 수 있다. 수분함량은 침지온도와 농도 모두( $P < 0.01$ )에 유의성을 가지며 carotene 함

**Table 2. Experimental data for carotene content, moisture content,  $\Delta E$  and rehydration ratio for different coded values of treatment conditions**

Treatment No.	Immersion temp. T	Immersion Conc. C	Immersion time t	Carotene Content	Moisture Content	$\Delta E$
1	-1	-1	0	961.26	89.68	18.72
2	-1	0	-1	645.25	82.11	14.66
3	-1	0	1	472.78	81.64	18.63
4	-1	1	0	485.17	73.94	12.88
5	0	-1	-1	552.40	85.89	17.77
6	0	-1	1	554.33	84.94	17.36
7	0	0	0	341.91	74.38	11.84
8	0	0	0	294.80	72.98	13.67
9	0	0	0	426.77	75.79	10.86
10	0	1	-1	349.90	70.39	10.46
11	0	1	1	306.37	69.25	9.02
12	1	-1	0	774.46	84.81	22.85
13	1	0	-1	532.84	76.34	11.88
14	1	0	1	412.16	75.27	11.71
15	1	1	0	238.59	66.29	8.86

량과 색차(ΔE)는 농도에 대해서만 5% 수준에서 유의성이 인정되었으나 침지시간에 대해서는 반응변수 모두 유의성이 나타나지 않았다. 수렴된 회귀식에 대하

여 분산분석한 결과는 Table 5에 나타내었다. F검정 결과 세 반응변수 모두 추정된 회귀식에 유의성이 나타났으며(P<0.05), 적합성 결여분석 결과 모두 유의성이 없어(P>0.05) 반응표면 모형이 통계적으로 유의하다고 할 수 있었다. 다중회귀분석 결과 일차항은 유의성이 인정되었으나 이차항은 수분함량에 대해서만 유의성을 가지며 변수상호간에는 유의성이 없는 것으로 나타났다. 그러나 이차회귀식에 의하여 형성된 반응표면의 결과 R<sup>2</sup>는 대체적으로 높은 편이었다. 이러한 결과에 의한 각 반응변수의 정상점과 정상점에서의 독립변수의 조건은 Table 6과 같았다. 수분함량의 정상점은 최소점이었으나 carotene 함량과 색차(ΔE)는 안장점을 나타내고 있어 최적점이라 할 수 없다. 따라서 능선분석에 의해 coded radius가 중심점인 0에서 1의 범위내에서 carotene 함량의 경우 최대로 하는 값의 예측치는 662.16으로 온도와 농도, 시간이 각각 62.93°C, 25.98°Brix, 14.51분으로 나타나 온도와 농도를 낮추면 최대값을 얻는 것으로 나타났으며 시간의 영향은 거의 없었다. 또한 색차(ΔE)를 최소로 하는 점에서의 예측치는 8.45로서 각 독립변수의 조건은 각각 74.39°C, 57.70°Brix, 15.79분인 것으로 나타났다.

**Table 3. Regression coefficients of second order polynomials<sup>a)</sup> representing relationships between indicated response variables (Yn) and independent variables of immersion temperature (i or j=1), immersion concentration (i or j=2), immersion time (i or j=3)**

Coefficients	Carotene Content k=1	Moisture Content k=2	ΔE k=3
βk0	354.49	74.38	12.12
βk1	-75.80	-3.08	-1.20
βk2	-182.80	-8.18	-4.44
βk3	-41.84	-0.45	0.24
βk11	167.69	2.76	2.14
βk12	-14.95	-0.70	-2.03
βk13	12.95	-0.15	-1.04
βk22	92.68	1.54	1.57
βk23	-11.37	-0.05	-0.26
βk33	-6.43	1.70	-0.04

$$^a) Y_n = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \beta_{ij} X_i X_j + \epsilon$$

**Table 4. Analysis of variance showing significant effects of processing variables on carotene content, moisture content, ΔE and rehydration ratio**

Process variables	DF	Sum of squares		
		Carotene Content	Moisture Content	ΔE
Immersion Temperature	4	151361	106.15**	49.23
Immersion Concentration	4	300463*	546.13**	183.31*
Immersion Time	4	15357	12.38	5.03

\*Significant at 5%, \*\* Significant at 1%.

**최적조건의 선정**

반응표면분석법은 그래프로서 최적화를 이루는 한 방법이므로 등고선도를 이용하여 최적조건을 결정할 수 있다. 건조 전처리로서 삼투건조공정에서는 수분의 제거와 아울러 vitamin A의 전구체로서 건조 후의 영양적 가치의 지표가 되는 carotene의 함량과 좋은 외관의 지표가 되는 색차(ΔE)가 대단히 중요하다고 할 수 있다. 따라서 본 삼투건조에서는 반응변수를 수분 함량과 carotene 함량, 색차(ΔE)로 하고 독립변수를 온도, 농도, 시간으로 하였을 때 그 변화 정도를 contour map으로 살펴보았다. 각 반응변수의 반응 표면은 3차

**Table 5. Analysis of variance showing effects of treatment variables as linear or quadratic terms and interaction (cross product) effects on response variables, carotene content, moisture content, ΔE and rehydration ratio**

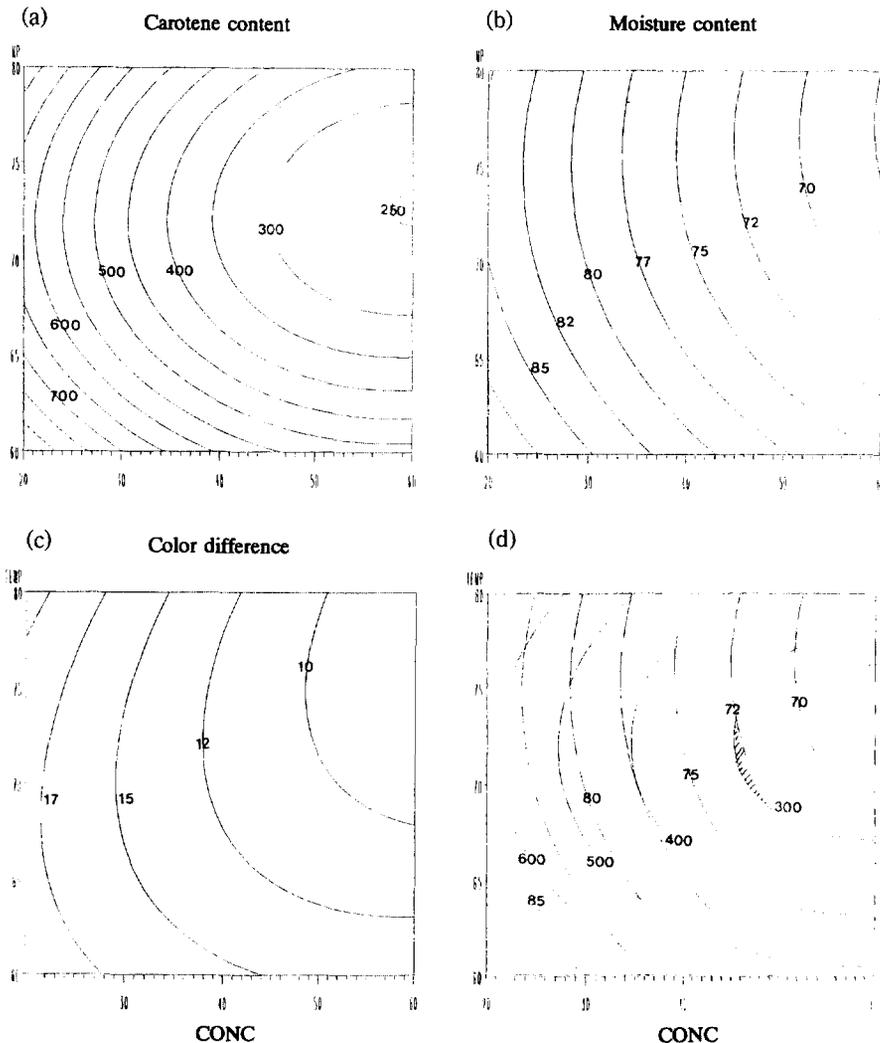
Source	DF	Carotene Content		Moisture Content		ΔE	
		sum of squares	Prob>F	sum of squares	Prob>F	sum of squares	Prob>F
Model	9	459201	0.0726	657.01	0.0001	214.99	0.0395
Linear	3	327308	0.0212	613.12	0.0000	169.33	0.0090
Quadratic	3	129812	0.1135	41.85	0.0079	24.51	0.2581
Cross product	3	2080.61	0.9819	2.03	0.6145	21.16	0.3044
Residual	5	64738		5.18		22.27	
Lack of fit	3	18598	0.1999	1.23	0.8838	18.21	0.2611
Pure error	2	4472.77		3.95		4.07	
Variability explained(R <sup>2</sup> )		0.8764		0.9922		0.9061	

**Table 6. Predicted levels of process variables yielding optimum response of carotene content, moisture content,  $\Delta E$  and rehydration ratio**

process variables	Levels for optimum response		
	Carotene Content	Moisture Content	$\Delta E$
Immersion Temperature	0.39	0.93	0.15
Immersion Concentration	0.80	2.87	1.26
Immersion time	-3.56	0.22	-3.02
Morphology			
Predicted value at stationary point	S.P. <sup>a)</sup> 340.73	MIN. 61.15	S.P. 8.86

<sup>a)</sup>S.P.=Saddle Point

원으로서 정확하게 일치하지 않으므로 적절한 제한 조건을 필요로 하게 된다. 주어진 실험조건 내에서 건조 효율을 나타내는 수분함량을 최대로 낮추고 품질지표로 나타낼 수 있는 carotene 함량을 최대로 하고 색차 ( $\Delta E$ )를 최소로 하는 적절한 영역을 제한조건으로 하여 중첩되는 contour map으로서 최적조건을 얻고자 하였다. 각각 온도와 농도, 온도와 시간, 그리고 농도와 시간을 함수로 하여 등고선도를 그려 본 결과 반응변수에 따른 조건이 일치하지 않아 세 가지의 실험변수 중 가장 영향이 적은 것으로 나타난(Table 4) 시간을 중심점으로 고정하고 온도와 농도의 최적조건을 고자 하였다. 중심점에서의 침지시간인 15분으로 정한 후 온도



**Fig. 1. Contour plots of equal response under the constant time (t=15 min.). (a) carotene content (b) moisture content (c) color difference (d) superimposed plots. ---: Moisture Content, —: Carotene Content.**

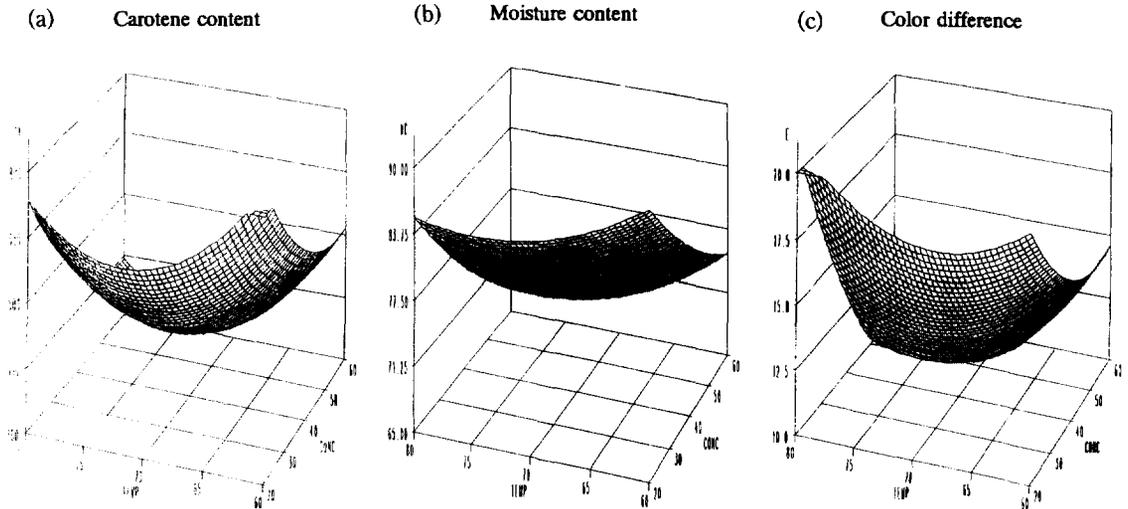


Fig. 2. Response surfaces of variables at the constant process time( $t=15$ min.) (a) carotene content (b) moisture content (c) color difference (a) (b) (c)

와 시간만을 변수로 하여 분석을 행한 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 먼저 (a)에서 carotene 함량을 보면 농도의 증가에 따라 감소함을 보이고 온도는 중심점 근처에서 가장 많은 감소를 보였는데 이는 많은 건조로 인하여 품질의 열화가 심함을 알 수 있으며, 침지온도와 당농도에 비해 크게 작용하지 않는다는 Kim (1990)의 보고와 유사하였으나 온도와 농도가 유사한 영향을 끼친다는 Conway *et al.* (1983)의 보고와는 상반된 결과를 보였다. (b)에서 살펴보면 수분함량은 고농도, 고온에서 많은 감소가 이루어짐을 알 수 있는데 이는 삼투에 의한 건조효과가 증대하는 것으로서 온도와 농도가 증가할수록 사과 내부의 수분확산이 증대한다는 Magee *et al.* (1983)의 보고와 같은 결과를 보였다. 본 조건에서 수분함량을 70%이하로 감소할 수 있음을 보여 건조전 처리로 활용가능함을 알 수 있었다. (c)에 나타난 건조 후의 색차는 고온과 고농도에서의 처리가 건조 후의 변색을 억제함을 알 수 있으며 이는 Ponting *et al.* (1966)의 보고와 일치하였다. 최적조건을 기 위하여 impose 한 그림을 (d)에 나타내었다. 수분함량을 72% 까지 하고, carotene 함량을  $300 \mu\text{g/g}$  이상으로 그리고 색차 ( $\Delta E$ )를 10-12로 하는 영역의 온도와 농도를 각기  $72^\circ\text{C}$ ,  $46^\circ\text{Brix}$ 로 결정할 수 있었다. 따라서 삼투건조시 최적 조건은  $72^\circ\text{C}$ ,  $46^\circ\text{Brix}$ , 15분으로 결정하였다. 온도와 농도에 따른 수분함량과 carotene 함량, 그리고 색차 ( $\Delta E$ )의 변화 정도를 알아보기 위하여 형성한 반응표면을 Fig. 2에 나타내었다. 수분함량의 경우 온도와 농도의 증가에 따라 점차 감소하였으며 그 정도는 기울기로

보아 농도가 수분의 제거에 더 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었으며, 고온 고농도의 조건인  $80^\circ\text{C}$ ,  $60^\circ\text{Brix}$ 에서의 수분함량은 68% 정도를 보였다. Carotene 함량은 최소가 되는 지역이 중심점인 근처에서 형성됨을 보였으며, 색차 또한 고온과 고농도에 거 처리가 낮은 값을 보였다.

## 결 론

당근의 삼투건조 공정의 최적화를 수행하기 위하여 부분실시계획법으로 실험계획을 수립하여 polynomial 형태의 모형을 수립하였다. 품질지표가 되는 carotene 함량과 건조효율을 나타내는 수분함량, 그리고 좋은 외관을 나타내는 색차( $\Delta E$ )를 제한요소로 하여 최적 조건을 반응표면분석법을 이용하여 얻었으며 제한조건에서의 각 공정 조건을 얻을 수 있도록 하였다. 삼투건조 공정 동안 수분함량과 carotene 함량 등은 온도나 농도 그리고 시간이 증가함에 따라 낮은 값을 보여 건조가 이루어짐과 동시에 품질의 열화가 일어남을 알 수 있었다. 반응변수를 수분 함량과 carotene 함량과 색차( $\Delta E$ )로 하고 독립변수를 온도, 농도, 시간으로 하여 수립된 회귀식에 대하여 적합성 검열분석을 행한 결과 유의성이 없어 회귀식이 적절함을 알 수 있으며 농도가 가장 큰 영향을 미치는 변수로 나타났다. 가장 영향이 적은 시간을 중심점으로 두고 온도와 시간만을 변수로 하였을 경우 최적조건은 수분함량을 72% 까지 하고, carotene 함량을  $300 \mu\text{g/g}$  이상으로

그리고 색차(ΔE)를 10-12로 하는 영역의 온도와 농도를 각기 72°C, 46°Brix로 결정할 수 있었다.

## 문 헌

- 식품기술, 1992. 건조식품의 시장동향과 금후의 전망, **5**(1): 80
- 박성현. 1991. 현대실험계획법, p.575, 민영사. 서울
- 이병우, 신건진, 김명환, 최춘언. 1989. 열풍건조전 전처리 방법이 당근 후레이가 품질에 미치는 영향. 한국식품과학회지. **21**(3): 430
- 윤광섭, 최용희. 1996. 사과와 감의 삼투건조시 물질이동특성. 한국식품명양과학회지, **25**(5): 824
- A.O.A.C. 1990. Official method of analysis. 15th Ed., Association of official analytical chemists Inc., p.1048
- Biswal, R.N., O.K. Bozorgmehr, F.D. Tompkind, and X. Liu. 1991. Osmotic concentration of green bean prior to freezing. *J. Food Sci.*, **56**(4): 1008
- Conway, J., F. Castaigne, G. Picard, and X. Vovan. 1983. Mass transfer consideration in the osmotic dehydration of apples. *Can. Inst. Food Sci. Technol.*, **16**(1): 25
- Desrosier. N.W. 1976. Technology of food preservation. 4th Ed., AVI Publishing Co., p.110
- Dixon, G.M., J.J. Jen, and V.A. Paynter, 1976. Tasty apple slices results from combined osmotic-dehydration and vacuum-drying process. *Food Prod. Dev.*, **10**(7): 60
- Dixon, G.M. and J.J. Jen. 1977. Changes of sugar and acids of osmovac-dried apple slices. *J. Food Sci.*, **42**: 1126
- Farkas, D.F. and M.E. Lazar. 1969. Osmotic dehydration of apple pieces ; Effects of temperature and syrup concentration on rate. *Food Technol.*, **23**: 688
- Floros, J.D. and M.S. Chinnan. 1987. Optimization of pimento pepper lye-peeling process using response surface methodology. *Trans. of ASAE.*, **30**(2): 560
- Glenn, D.C. 1982. Foods and food production encyclopedia. Van Nostrand Reinold Co., p.340
- Henika, R. G. 1982. Use of response surface methodology in sensory evaluation. *Food Technol.*, **36**: 96
- Islam, M.N. and J.N. Flink. 1982. Dehydration of potato. Osmotic concentration and its effects on air drying behavior. *J. Food Technol.*, **17**: 387
- Kim, M.H. 1990. Mass transfer and optimum processing condition for osmotic concentration of potatoes prior to air dehydration. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **22**(5): 497
- King, V.A.E. and R.R. Zall. 1992. A response surface methodology approach to the optimization of controlled low-temperature vacuum dehydration. *Food Research International*, **25**: 1
- Lenart, A. and M. Flink. 1984. Osmotic concentration of potatoes, Criteria for the end-point of the osmosis process. *J. Food Technol.*, **19**: 45
- Liska, B.J. and W.W. Marion. 1985. America's food research, Agenda for action. *Food Technol.*, **39**(6):3
- Mayers, R.H. 1975. Response surface methodology. p.65
- Magee, T.R.A., A.A. Hassaballah, and W.R. Murphy. 1983. Internal mass transfer during osmotic dehydration of apple slices in sugar solution. *Irish J. food Sci. Technol.*, **7**: 147
- Mullen, k. and D. Ennis. 1979. Rotatable designs product development. *Food Technol.*, **33**(7): 74
- Mullen, k. and D. Ennis. 1985. Fractional factorial in product development. *Food Technol.*, **39**(5): 90
- Mudahar, G.S., R.T. Toledo, J.D. Floros. and J.J. Jen. 1989. Optimization of carrot dehydration process using response surface methodology. *J. Food Sci.*, **54**(3): 714
- Ponting, J.D., G.G. Watters, R.R. Ferry, R. Jacson, and W.L. Stanley. 1966. Osmotic dehydration of fruits. *Food Technol.*, **20**: 1365
- Torreggiani, D., R.T. Toledo, and G. Bertolo. 1995. Optimization of vapor induced puffing in apple dehydration. *J. Food Sci.*, **60**(1): 181