

# 천연색소 추출공정 최적화를 위한 반응표면분석법의 적용

이승범 · 이원재 · 홍인권<sup>†</sup>

단국대학교 화학공학과  
(2018년 1월 10일 접수, 2018년 1월 30일 심사, 2018년 2월 13일 채택)

## Application of Response Surface Methodology for Optimization of Nature Dye Extraction Process

Seung Bum Lee, Won Jae Lee, and In Kwon Hong<sup>†</sup>

Department of Chemical Engineering, Dankook University, Gyeonggi 16890, Korea  
(Received January 10, 2018; Revised January 30, 2018; Accepted February 13, 2018)

### 초 록

환경 친화적이고 질병을 유발시키지 않는 천연색소의 사용이 증가함에 따라 천연색소를 추출하는 다양한 방법이 연구되고 있다. 본 연구에서는 천연염료인 chlorophyll을 포함하고 있는 식물성 원료인 파슬리를 대상으로 천연색소를 추출하였다. 추출용매의 pH와 추출온도를 변수로 추출된 천연염료의 녹색계열의 목표색 코드 #50932C ( $L = 55.0$ ,  $a = -40.0$ ,  $b = 46.0$ )을 설정하고, 추출된 천연염료의 명도와 색좌표( $L$ ,  $a$ ,  $b$ )의 정량적 수치로부터 색도분석을 수행하였다. 반응표면분석법에 의해 예측된 색도분석 중 색좌표 분석은 최적조건인 pH 8.0, 추출온도 60.9 °C에서의 이론적 수치  $L$  (55.0),  $a$  (-36.3),  $b$  (36.8)를 나타냈고, 실제 실험으로 확인한 결과  $L$  (69.0),  $a$  (-35.9),  $b$  (31.4)를 나타내, 이론 정확도 73.0%, 실제오차율은 13.8%로 확인되었으며, 색차분석의  $\Delta E$ 의 이론 최적화 값은 pH = 9.2 추출온도 55.2 °C에서  $\Delta E$  (12.4)이었고, 실제 실험의 경우  $\Delta E$  (13.0)로 나타났다. 색차 분석의 이론정확도 97.5% 및 실제 오차율은 4.5%를 나타냈다. 하지만, 색좌표의 조합이 목표색에 근사한 색을 나타내지 않았고, 단지 산술기하 평균적으로서 목표색에 근사함을 나타냈다. 따라서 천연염료 추출공정에 반응표면분석법을 적용시킬 경우 반응치로 색차  $\Delta E$ 에 비해 색좌표 ( $L$ ,  $a$ ,  $b$ )를 이용하는 것이 색소추출공정의 최적화에 더 우수한 방법인 것으로 사료된다.

### Abstract

As the use of environmentally friendly and non-disease natural pigments grows, various methods for extracting natural pigments have been studied. The natural color was extracted from parsley, a vegetable ingredient containing natural dyes. Target color codes of green series of natural dyes extracted as variables #50932C ( $L = 55.0$ ,  $a = -40.0$ ,  $b = 46.0$ ) were set with the pH and temperature of extracted natural color coordinates (of the extracted), and the quantitative intensities of natural dyes were analyzed. During the colorimetric analysis predicted by the reaction surface analysis method, a color coordinate analysis was conducted under the optimal conditions of pH 8.0 and extraction temperature of 60.9 °C. Under these conditions, predicted figures of  $L$ ,  $a$ , and  $b$  were 55.0, -36.3, and 36.8, respectively, while actual experimental ones confirmed were 69.0, -35.9, and 31.4, respectively. In these results, the theory accuracy and actual error rate were confirmed to be 73.0 and 13.8%, respectively. The theoretical optimization condition of the color difference ( $\Delta E$ ) was at the pH of 9.2 and extraction temperature of 55.2 °C. Under these conditions the predicted  $\Delta E$  figure was 12.4 while the experimental one was 13.0. The difference in color analysis showed 97.5% of the theoretical accuracy and 4.5% of the actual error rate. However, the combination of color coordinates did not represent a desired target color, but rather close to the targeted color by means of an arithmetic mean. Therefore, it can be said that when the reaction surface analysis method was applied to the natural dye extraction process, the use of color coordinates as a response value can be a better method for optimizing the dye extraction process.

**Keywords:** response surface methodology, chromaticity analysis, natural dye, parsley

## 1. 서 론

최근 들어 합성염료의 인체 유해성에 대한 보고가 증가함에 따라 생분해가 가능하고 저독성, 저알레르기 능력이 뛰어난 천연염료에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1-3]. 천연염료는 생태학적 균형을 유지하고, 생산 및 사용 중에 환경을 오염하지 않을 뿐만 아니라 사용

<sup>†</sup> Corresponding Author: Dankook University,  
Department of Chemical Engineering, Gyeonggi 16890, Korea  
Tel: +82-31-8005-3544 e-mail: khong@dankook.ac.kr

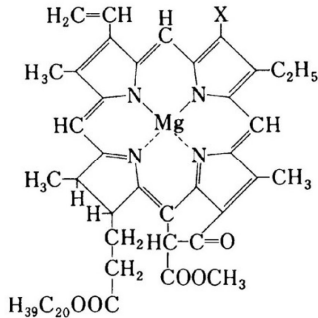


Figure 1. Molecular Structure of Chlorophyll (a) (X = CH<sub>3</sub>) and Chlorophyll (b) (X = CHO).

범위가 넓기 때문에, 식품, 화장품, 의류산업 등에 접목할 수 있어 천연색소 시장은 매우 넓게 발전하고 있다[4-5]. 하지만 아직까지 대량 생산이 가능한 합성염료에 비해 천연염료는 천연물의 종류에 따라 추출과정이 복잡하고 경제성이 떨어져 그 적용에 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 천연염료 추출공정에 반응표면분석법(response surface methodology, RSM)을 적용하여 천연색소 추출공정을 최적화함으로써 실제공정에 적용가능성을 평가하였다.

반응표면분석법이란 실험의 주어진 세트에 응답해 영향을 미치는 인자를 독립적으로 수행 방향 및 최적화하기 위한 효과적인 수학적 통계 처리하는 방법이다. 이는 상호 작용을 독립 변수의 효과 정의뿐만 아니라 변수 사이의 주효과도 최적화할 수 있어 다양한 분야에서 적용되고 있다[6-11]. 반응표면분석법에 사용되는 용어로는 실험목적의 달성에 직결된 품질 특성값을 나타내는 반응치(response,  $y$ ), 인자들이 실험 중에 취하는 값 또는 조절 조건인 수준(level), 반응치(response)에 영향을 주리라 기대되는 변수인 계량인자(quantitative factor) 및 계수인자(qualitative factor), 주어진 결과 값과 인자변화의 관계를 설명하는 수학적 관계인 모델(model), 그리고 처리조합(treatment combination), 주효과(main effect), 교호작용(interaction) 등이 있다. 반응표면분석법의 모델로는 2차회귀 모형을 이용하여 주효과 + 주효과<sup>2</sup> + 교호효과로 다음의 식과 같이 나타낼 수 있다[12].

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \epsilon \quad (1)$$

여기서 반응치,  $y$ 는 색도를 나타내는  $L$ ,  $a$ ,  $b$  및 색차  $\Delta E$ 이고,  $x_1$ 과  $x_2$ 는 각각 계량인자인 추출용매의 pH와 추출온도이다.

본 연구에서는 천연염료인 클로로필(chlorophyll)을 포함하고 있는 식물성 원료인 파슬리(parsley)를 대상으로 천연색소를 추출하였다. 파슬리에 포함되어 있는 색소는 클로로필계 색소로 녹색색소이다. 또한 인간이 섭취했을 때 장의 건강을 향상시키는 역할을 하는 것으로 보고되어지고 있다[13-14]. 따라서 파슬리로부터 클로로필을 추출하는 공정에 Minitab을 이용한 반응표면분석법을 적용시켜 추출용매의 pH와 추출온도를 변수로 최적 추출조건을 평가하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1. 천연염료의 추출

식물성 천연원료로부터 천연색소를 추출하기 위해서 천연원료로는 파슬리를 선택하였고 이의 색소는 클로로필이다. 클로로필은 클로로필 a와 클로로필 b로 구분할 수 있으며 구조식은 Figure 1과 같다. 파

슬리로부터 클로로필을 추출하기 위해 천연원료인 파슬리를 건조한 후 분쇄기를 이용하여 분쇄하였다. 분쇄된 파슬리 3 g을 추출용매 100 mL에 넣은 후 일정한 온도에서 30 min 동안 천연색소 추출과정을 수행하였다. 실험에 사용된 추출용매의 pH 범위를 3~12로 변화시키면서 추출하였고, 추출온도는 각각 40, 50, 60, 70 °C로 실험하였다. 추출용매의 pH는 산성의 경우 아세트산(acetic acid, CH<sub>3</sub>COOH)을 이용하였고, 염기성의 경우에는 탄산나트륨(sodium carbonate, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)을 이용하여 조절하였다.

### 2.2. CIE $L$ - $a$ - $b$ 공간을 이용한 색도분석

본 연구결과의 색도를 정량화하기 위해 국제조명위원회가 1976년도에 규정한 CIE (Commission Internationale de l'Eclairage)  $L$ - $a$ - $b$  공간을 사용하였다.  $L$ 은 명도를 나타내며,  $a$ 와  $b$ 는 색좌표로써 색의 방향을 나타낸다.  $+a$ 는 빨강색,  $-a$ 는 초록색,  $+b$ 는 노랑색,  $-b$ 는 파랑색 방향을 나타낸다. 중심은 무채색을 나타내고  $a$ ,  $b$  값이 증가하여 점이 중심 밖으로 멀어지면 채도가 증가한다. 천연원료로부터 추출된 색소의 색좌표인  $L$ ,  $a$ ,  $b$  값을 얻기 위해 색차계(color meter, CT-310, Konica Minolta)를 사용하였다.

$L$ - $a$ - $b$  시스템은 객관적인 색인식과 관련된 색 시스템으로  $L$ ,  $a$ ,  $b$ 의 3개의 축으로 구성되어 있다.  $L^*$ 축은 색의 명도를 나타내며 항상 (+)이며, 0 (이상적인 black)과 100 (이상적인 white) 사이에 있다.  $a$ 축은 red-green에 해당하며 붉은 채도는 (+)  $a$  값을, 초록은 (-)  $a$  값을 나타낸다.  $b$ 축은 yellow-blue에 해당하며 노란 채도는 (+)  $b$  값을, 파랑은 (-)  $b$  값을 각각 나타낸다. 모든 색들은 각각 고유한  $L$ - $a$ - $b$  좌표를 가지며 색차는 그 좌표들의 차이 값( $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$ ,  $\Delta b^*$ )으로 알 수 있다. 이 차이 값들로부터 색차  $\Delta E$ 를 다음과 같은 식으로 구할 수 있다[15].

$$\Delta E = \sqrt{\Delta a^{*2} + \Delta b^{*2} + \Delta L^{*2}} \quad (2)$$

여기서  $\Delta a^* = a_2 - a_1$  (red-green),  $\Delta b^* = b_2 - b_1$  (yellow-blue),  $\Delta L^* = L_2 - L_1$  (brightness)이다. 색차식(color difference formula)을 사용함으로써 계산된 색차 간 차이 값을 최소화하고 기기 측정치의 결과를 목표색과 높은 상관관계를 유지할 수 있다. 본 연구에서는 클로로필 계열녹색과 비슷한 목표색을 정하고 각각의 색의  $L$ ,  $a$ ,  $b$  좌표를 목표색의 좌표로 지정하였다. 목표 색좌표 코드와 지수는 #50932C ( $L = 55.0$ ,  $a = -40.0$ ,  $b = 46.0$ )으로 설정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 추출된 클로로필의 색도 분석

Table 1은 40~70 °C에서 파슬리로부터 추출된 chlorophyll의 용매 pH와 온도에 따른 색도를 나타낸 표이며, 50 °C의 추출온도에서 산성 영역인 pH 3.6 ( $L = 74.8$ ,  $a = -27.3$ ,  $b = 25.7$ )와 pH 5.0 ( $L = 57.6$ ,  $a = -31.0$ ,  $b = 31.8$ )에서는 목표색에 비해 색의 명도를 나타내는  $L$  값이 크고, red-green의 색상을 나타내는  $a$  값이 (+)방향으로 크게 나타나고, yellow-blue의 색상을 나타내는  $b$  값이 (-)방향으로 작게 나타났다. 따라서 산성영역에서는 파슬리로부터 추출된 천연색소가 적색과 노랑색이 강하게 나타나 색차를 나타내는  $\Delta E$ 가 각각 31.1와 28.8로 목표 색과는 크게 차이를 나타내었다. 또한 중성영역인 pH 7.0에서는  $L = 60.9$ ,  $a = -33.1$ ,  $b = 30.1$ 로 명도를 나타내는  $L$  값은 감소하였으나 red-green의 색상을 나타내는  $a$  값과 yellow-blue의 색상을 나타내는  $b$  값은 산성영역에 비해 목표색에 근접함을 확인할 수 있었다.

Table 1. CIE Chromaticity Analysis According to *L-a-b* Value of Natural Dye from Parsley

pH	Temperature (°C)	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	$\Delta E$	color
	Target Color	55.0	-40.0	46.0	-	
3.60	40	93.04	-37.47	21.11	45.53	
	50	74.76	-27.34	25.65	31.06	
	60	85.93	-36.58	23.19	41.24	
	70	93.52	-37.59	19.83	46.63	
5.01	40	87.55	-36.54	23.71	39.60	
	50	78.37	-31.03	31.83	28.76	
	60	87.36	-37.51	25.37	38.46	
	70	89.51	-38.42	22.47	41.80	
7.00	40	88.86	-39.30	29.18	37.81	
	50	60.86	-33.14	30.12	18.26	
	60	70.86	-35.87	28.56	23.93	
	70	83.81	-48.32	27.18	35.40	
8.56	40	80.44	-34.26	30.24	30.47	
	50	45.97	-33.59	40.30	12.45	
	60	68.07	-35.84	32.03	19.58	
	70	81.60	-36.74	31.58	30.43	
11.46	40	87.73	-38.10	26.44	38.18	
	50	46.58	-33.75	28.31	22.19	
	60	79.09	-35.72	27.18	30.87	
	70	83.81	-37.32	23.15	26.87	

또한 pH가 염기성 영역으로 증가함에 따라 추출된 색소의 색도는 추출온도 50 °C를 기준으로 pH가 증가함에 따라 pH 8.6 (*L* = 46.0, *a* = -33.6, *b* = 40.3), pH 11.5 (*L* = 46.6, *a* = -33.8, *b* = 28.3)으로 명도를 나타내는 *L* 값과 red-green의 색상을 나타내는 *a* 값, yellow-blue의 색상을 나타내는 *b* 값이 목표색에 크게 근접해 염기성 조건 하에서 더욱 목표 색에 가까워지는 것을 확인할 수 있었다. 염기성이 증가함에 따라 색차,  $\Delta E$ 는 pH 3.6 (31.1), pH 5.0 (28.8), pH 7.0 (18.3), pH 8.6 (12.5), pH 11.5 (22.2)로 감소하다 증가하는 경향을 나타내었으며, 이때 최적조건 pH 8.6에서의 색좌표 *L*, *a*, *b* 값은 *L* (46.0), *a* (-33.6), *b* (40.3)로 나타났다.

### 3.2. 색차를 이용한 반응표면분석법의 적용




반응표면분석법에서의 오차를 줄이기 위해, 요인에 끼치는 영향이 낮은 변수를 기초실험을 통해 고정시키는데, 본 실험은 변수인 추출시간은 색 변화가 거의없는 기점인 30 min으로 고정시킨 후 실험을 진행하였다[16]. 또한, 기초실험을 바탕으로 반응표면분석법의 설계방법에 따라 계량인자의 범위를 각각 pH = 7~11와 40~70 °C로 설정하

였다. 기초실험을 토대로 분석해본 결과, pH는 약염기성이 목표색과 더욱 가까워지는 것을 확인할 수 있었으며, 중성에서 약염기, 약염기성에서 강염기까지의, 극명한 차이를 나타내 뚜렷한 경향성을 분석하기 위해서 설정하였다. 또한 온도설정 이유로써도 마찬가지로, 대부분 50 °C에서 목표색과 근사한 값을 보이지만, 이 또한 온도가 낮을 경우, 높을 경우의 경향성의 차이를 극명하게 나타내기 위해 40~70 °C로 설정하였다. 추출용매의 pH 범위와 추출온도 범위를 반응표면분석법에 적용하여, 이를 통해 변수별 색도 및 색차를 Table 2에 나타내었다.

반응표면분석법으로부터 계산된 회귀방정식을 이용하여 도식된 추출용매의 pH와 추출온도에 따른 색차  $\Delta E$ 의 변화와 반응최적화 그래프를 각각 Figure 2와 Figure 3에 나타내었다. 반응치를 색차  $\Delta E$ 로 설정하고, 계량인자를 추출용매의 pH를  $x_1$ 으로 추출온도를  $x_2$ 로 설정하여 계산된 회귀방정식은 다음과 같다.

$$\Delta E = 315.7 - 24.78 x_1 - 6.866 x_2 + 1.316 x_1^2 + 0.06122 x_2^2 + 0.0115 x_1 x_2 \quad (3)$$

Table 2. CIE Chromaticity Analysis Using Response Surface Methodology

pH	Temperature (°C)	L	a	b	ΔE	color
Target Color		55.0	-40.0	46.0	-	
11	40	85.32	-36.31	29.87	34.54	
7	40	87.82	-40.13	28.98	36.97	
6.1716	55	68.39	-34.13	30.93	21.00	
9	76.2132	88.35	-37.63	30.85	36.71	
11.8284	55	49.98	-34.57	29.31	18.25	
9	55	48.16	-32.16	38.31	12.94	
11	70	82.13	-37.51	26.59	33.45	
9	55	48.69	-32.8	39.13	11.78	
9	33.7868	83.59	-25.98	27.98	36.59	
9	55	47.98	-32.53	38.63	12.63	
7	70	82.18	-49.45	26.97	34.50	
9	55	48.11	-33.13	37.43	12.97	
9	55	47.36	-33.51	39.41	12.00	

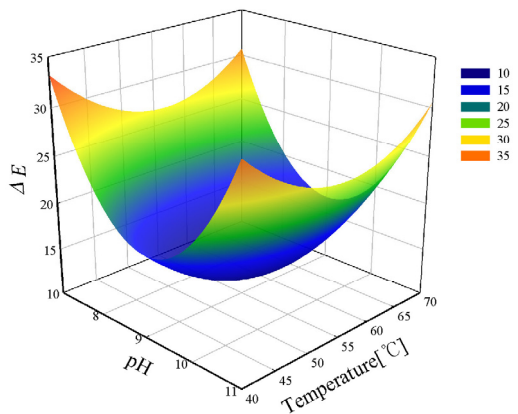


Figure 2. Variation of ΔE with pH and temperature.

Figure 2에 나타난 추출용매의 pH와 추출온도에 따른 색차 ΔE의 변화의 경우 pH가 7에서 11로 증가함에 따라 ΔE 값이 감소하다 증가하는 2차 곡선을 띄고 있으며, 추출온도가 40 °C에서 70 °C로 증가함에 따라 감소하다 증가하는 2차 곡선을 띄고 있다. 또한 Figure 3의 반응최적화 그래프의 경우 ΔE의 이론 최적화 값은 pH = 9.2 추출온도 55.2 °C에서 ΔE (12.4)이었고, 실제 실험의 경우 ΔE (13.0)로 나타났다. 색차 분석의 이론정확도 97.5% 및 실제 오차율은 4.5%로써 낮은 오차율과 높은 정확도이지만 Table 2의 색좌표를 분석한 결과 목표색과는 차이를 나타내었다.

3.3. 색좌표를 이용한 반응표면분석법의 적용

색차를 이용한 반응표면분석의 경우 이론정확도와 오차율 모두 좋은 결과를 나타내었으나 목표색과의 색좌표는 부정확한 것으로 나타

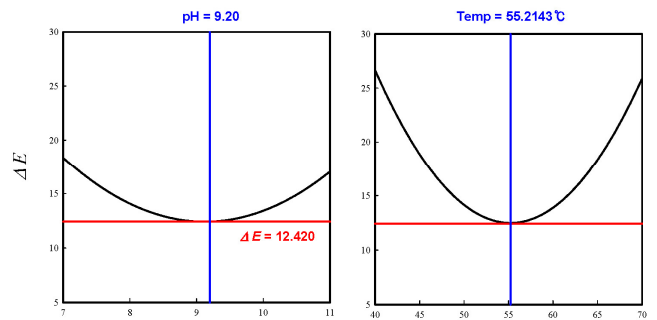


Figure 3. Optimization of ΔE using response surface methodology.

났다. 따라서 본 연구에서는 실험목적의 달성에 직결된 품질 특성값을 나타내는 반응치로 색좌표 (L, a, b)를 이용하여 반응표면분석법을 수행하였다. 색좌표를 이용하여 반응표면분석법으로부터 계산된 회귀방정식을 이용하여 도식된 추출용매의 pH와 추출온도에 따른 색도의 변화와 반응최적화 그래프를 각각 Figure 4와 Figure 5에 나타내었다. 반응치를 색도분석값인 L, a, b로 설정하고, 계량인자를 추출용매의 pH를 x<sub>1</sub>으로 추출온도를 x<sub>2</sub>로 설정하여 계산된 회귀방정식은 다음과 같다.

$$L = 542.0 - 41.2 x_1 - 10.91 x_2 + 2.127 x_1^2 + 0.06122 x_2^2 + 0.0115 x_1 x_2 \tag{4}$$

$$a = -69.5 + 9.40 x_1 - 0.13 x_2 - 0.676 x_1^2 - 0.00637 x_2^2 + 0.0677 x_1 x_2 \tag{5}$$

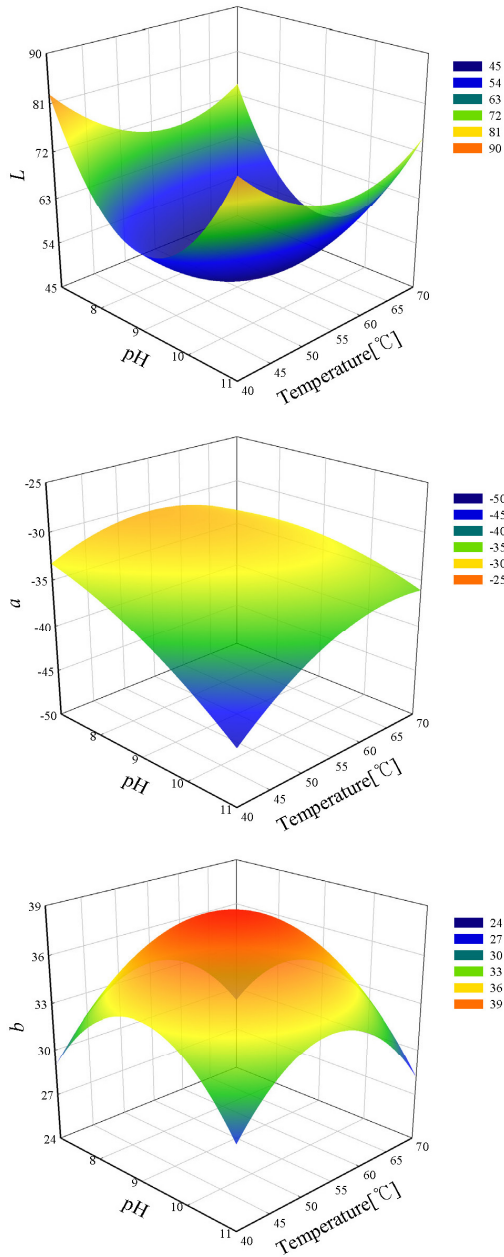


Figure 4. Variation of  $L$ ,  $a$ ,  $b$  with pH and temperature.

$$b = -126.4 + 21.38 x_1 + 2.529 x_2 - 1.162 x_1^2 - 0.02222 x_2^2 - 0.0106 x_1 x_2 \quad (6)$$

Figure 4에 나타난 추출용매의 pH와 추출온도에 따른 색도분석 결과 추출용매의 pH가 7에서 11까지 증가함에 따라 명도를 나타내는  $L$  값은 감소했다 증가하는 2차 함수 그래프 모양을 띠고 있음을 확인할 수 있었고, 색좌표  $a$  값은 증가함을 보이는 1차 함수 증가곡선을 나타내었다. 또한 색좌표  $b$  값은 명도를 나타내는  $L$  값과는 반대로 추출용매의 pH가 증가함에 따라, 증가하다 감소하는 2차 함수 곡선을 띠고 있음을 확인할 수 있었다. 추출온도 변화에 따른 색도의 변화의 경우에는 추출온도가 40 °C에서 70 °C로 증가함에 따라 명도를 나타내는  $L$  값은 감소하다 증가하는 2차 함수 그래프 모양을 띠고 있으며, 색좌

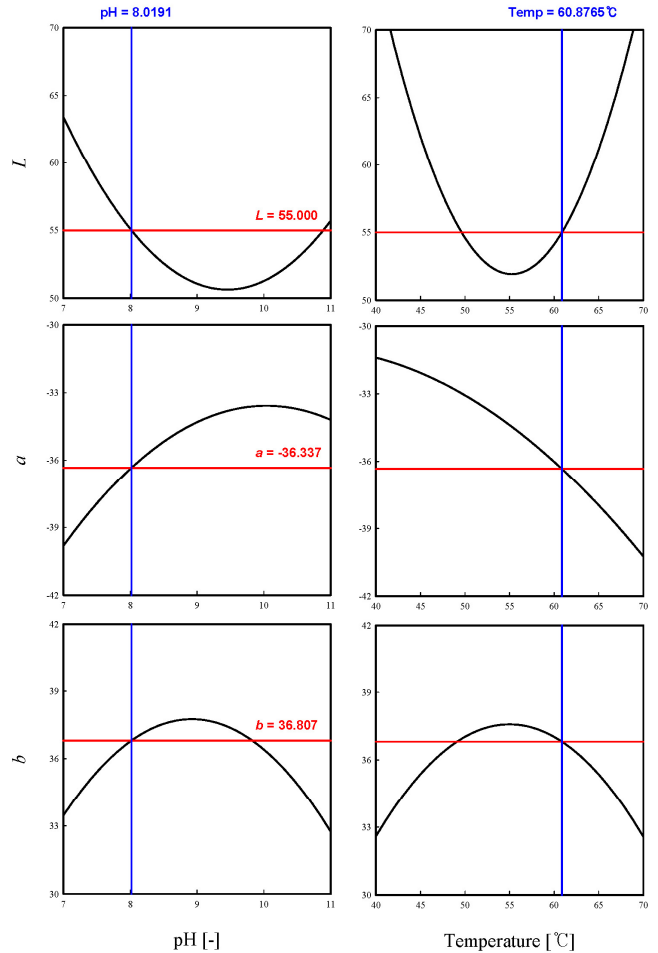


Figure 5. Optimization of  $L$ ,  $a$ ,  $b$  using response surface methodology.

표  $a$  값은 대체로 증가하는 1차 함수 감소곡선을 나타내고 있다. 또한 색좌표  $b$  값은 추출온도가 증가함에 따라 증가하다 감소하는 2차 함수 그래프의 경향성을 띠고 있음을 확인할 수 있었다. Figure 5의 반응최적화 그래프의 경우 기초실험 바탕 경향성 분석으로 인한 이론적 최적화 조건인 추출용매의 pH = 8.0, 추출온도 60.9 °C에서  $L$  (55.0),  $a$  (-36.3),  $b$  (36.8)로 실제 실험결과인 추출용매의 pH = 8.0, 추출온도 60.9 °C에서 측정된  $L$  (69.0),  $a$  (-35.9),  $b$  (31.4)와 비교할 때 이론정확도 73.0% 그리고 실제오차율의 산술기하 평균은 13.8%로 측정되었다. 이는 error range인 4.76~17.68% 영역에 포함되는 수치로 반응표면분석법의 적용될 수 있다는 것을 의미한다[17]. 또한 목표치로 색차,  $\Delta E$ 를 이용할 경우에 비해 목표색에 더욱 근접한 천연색소를 추출할 수 있는 최적조건을 제시할 수 있었다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 천연물질인 파슬리의 색소추출공정의 최적화에 반응표면분석법을 적용하여 적용가능성을 평가하였다. 반응표면분석법의 계량인자(quantitative factor)로 추출용매의 pH와 추출온도를 선정하였으며, 계량인자범위는 기초실험으로부터 추출용매의 pH는 7~11, 추출온도는 40~70 °C로 설정했다.

1. 목표색을 색좌표  $L = 55.0$ ,  $a = -40.0$ ,  $b = 46.0$ 으로 설정하고,

반응치를 색차,  $\Delta E$ 로 설정한 경우 이론 최적화 조건은 pH = 9.2, 추출온도 55.2 °C로 예측되었으며, 이 경우  $\Delta E$ 는 12.4이었다. 또한 동일한 조건에서 실험한 결과  $\Delta E$  (13.0)로 나타나 이론정확도 97.5% 및 실제 오차율은 4.5%로 측정되었다. 그러나 색차,  $\Delta E$ 를 이용한 반응표면분석의 경우 이론정확도와 오차율 모두 좋은 결과를 나타내었으나 목표색과의 색차표는 부정확한 것으로 나타났다.

2. 반응치로 색차표( $L, a, b$ )를 이용하여 이론적 최적화 조건인 추출용매의 pH = 8.0, 추출온도 60.9 °C에서의 이론적 최적 색차표는  $L$  (55.0),  $a$  (-36.3),  $b$  (36.8)로 실제 실험결과에서 측정된 색차표  $L$  (69.0),  $a$  (-35.9),  $b$  (31.4)와 비교할 때 이론정확도 73.0% 그리고 실제 오차율의 산술기하 평균은 13.8%로 측정되었다. 이는 목표치로 색차,  $\Delta E$ 를 이용할 경우에 비해 목표색에 더욱 근접하였다. 따라서 색차추출공정에 반응표면분석법을 적용시킬 경우 반응치로 색차표( $L, a, b$ )를 이용하여 최적화하는 것이 보다 유리한 것을 알 수 있었다.

## 감 사

이 연구는 2016학년도 단국대학교 대학연구비 지원으로 연구되었음.

## References

1. M. M. Kamel, R. M. El-Shishtawy, B. M. Yussef, and H. Mashaly, Ultrasonic assisted dyeing III. Dyeing of wool with lac as a natural dye, *Dyes Pigms.*, **65**(2), 103-110 (2005).
2. J. Xia, H. Wang, Q.-M. Zhang, Z. Zheng, and Z.-M. Han, The therapeutic effect of curcumin in male albino rats and its putative mechanisms on cerebral microvascular flow, *Brain Res.*, **1642**, 131-135 (2016).
3. H. Ghouila, N. Meksi, W. Haddar, M. F. Mhenni, and H. B. Jannet, Extraction, identification and dyeing studies of Isosalipurposide, a natural chalcone dye from *Acacia cyanophylla* flowers on wool, *Ind. Crops Prod.*, **35**(1), 31-36 (2012).
4. I. K. Hong, H. Jeon, and S. B. Lee, Extraction of natural dye from gardenia and chromaticity analysis according to chi parameter, *J. Ind. Eng. Chem.*, **24**, 326-332 (2015).
5. S. Ali, T. Hussain, and R. Nawaz, Optimization of alkaline extraction of natural dye from Henna leaves and its dyeing on cotton by exhaust method, *J. Clean. Prod.*, **17**(1), 61-68 (2009).
6. T. Belwal, P. Dhyani, I. D. Bhatt, R. S. Rawal, and V. Pande, Optimization extraction conditions for improving phenolic content and antioxidant activity in *Berberis asiatica* fruits using response surface methodology (RSM), *Food Chem.*, **207**, 115-124 (2016).
7. A. Alberti, A. A. F. Zelinski, D. M. Zardo, I. M. Demiate, A. Nogueira, and L. I. Mafra, Optimisation of the extraction of phenolic compounds from apples using response surface methodology, *Food Chem.*, **149**, 151-158 (2014).
8. N. Ilaiyaraja, K. R. Likhith, G. R. Sharath Babu, and F. Khanum, Optimisation of extraction of bioactive compounds from *Feronia limonia* (wood apple) fruit using response surface methodology (RSM), *Food Chem.*, **173**, 348-354 (2015).
9. A. A. D'Archivio and M. A. Maggi, Investigation by response surface methodology of the combined effect of pH and composition of water-methanol mixtures on the stability of curcuminoids, *Food Chem.*, **219**, 414-418 (2017).
10. M. Rahmani, E. Ghasemi, and M. Sasani, Application of response surface methodology for air assisted-dispersive liquid-liquid micro-extraction of deoxynivalenol in rice samples prior to HPLC-DAD analysis and comparison with solid phase extraction cleanup, *Talanta*, **165**, 27-32 (2017).
11. G. I. Danmaliki, T. A. Saleh, and A. A. Shamsuddeen, Response surface methodology optimization of adsorptive desulfurization on nickel/activated carbon, *J. Ind. Eng. Chem.*, **313**, 993-1003 (2017).
12. J. Cao, Y. Wu, Y. Jin, P. Yilihan, and W. Huang, Response surface methodology approach for optimization of the removal of chromium (VI) by NH<sub>2</sub>-MCM-41, *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, **45**, 860-868 (2014).
13. M. G. Ferruzzi and B. J. Digestion, absorption, and cancer preventative activity of dietary chlorophyll derivatives, *Nutr. Res.*, **27**, 1-12 (2007).
14. H. Vergara-Domínguez José, J. Ríos, B. Gandul-Rojas, and M. Roca, Chlorophyll catabolism in olive fruits (var. Arbequina and Hojiblanca) during maturation, *Food Chem.*, **212**, 604-611 (2016).
15. M. del M. Pérez, R. Ghinea, M. J. Rivas, A. Yebra, A. M. Ionescu, R. D. Paravina, and L. J. Herrera, Development of a customized whiteness index for dentistry based on CIELAB color space, *Dent. Mater.*, **32**(3), 461-467 (2016).
16. P. E. Ohale, C. F. Uzoh, and O. D. Onukwuli, Optimal factor evaluation for the dissolution of alumina from Azaraegbelu clay in acid solution using RSM and ANN comparative analysis, *S. Afr. J. Chem. Eng.*, **24**, 43-54 (2017).
17. O. Unal, Optimization of shot peening parameters by response surface methodology, *Surf. Coat. Technol.*, **305**, 99-109 (2016).