

## 반응표면 분석법에 의한 단단계법 거품형 찜 케이크의 물리적 특성의 최적화

곽성호<sup>1</sup> · 장명숙<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>신성대학 호텔식품계열

<sup>2</sup>단국대학교 식품영양학과

### Optimization for the Physical Properties of Steamed Foam Cakes Prepared with Single-stage Method by Response Surface Methodology

Sung-Ho Kwak<sup>1</sup> and Myung-Sook Jang<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Hotel Food Science, Shinsung College, Chungnam 343-861, Korea

<sup>2</sup>Dept. of Food Science and Nutrition, Dankook University, Seoul 140-714, Korea

#### Abstract

In preparation of steamed foam-cakes, effects of whipping time, amount of wheat flour, and amounts of emulsifier on physical properties of the steamed foam cakes were investigated using RSM (response surface methodology). The three independent variables selected for the RSM experiment were whipping time ( $X_1$ ), amount of wheat flour ( $X_2$ ), and amounts of wheat flour ( $X_2$ ), and concentration of emulsifier ( $X_3$ ) were set for single-stage mixing, respectively. A rotatable central composite design was used for treatment arrangement. The responses from the product for loaf volume, color values and textural properties were analysed. In the analysis of variance for the foam cakes prepared by single-stage method, significant interactions were observed between independent variables (experimental factors) and physical property like loaf volume ( $p < 0.05$ ); textural properties like hardness, gumminess, and chewiness ( $p < 0.05$ ). Among independent variables, concentration of emulsifier had the most effects on physical properties while whipping time. The ordinary points in surface response showed maximal points with physical property like colorimetric b value while other properties revealed saddle points. The 3-dimensional response surface graphs of the predicted regression models displayed decreasing loaf volumes with increasing whipping times and emulsifier concentrations beyond optimum levels. The optimum conditions for best loaf volume and textural property (hardness, gumminess and chewiness) of the products selected by extracting intersectional areas of the contour maps that commonly overlapped all characteristics were; 11~13 min whipping time, 470~486 g amount of wheat flour, and 19~20 g emulsifier concentration, in case of single-stage method. The median values extracted from the RSM experimental results for optimum manufacturing conditions for single-stage method, i.e., 12 min whipping time, 478 g amount of wheat flour, and 20 g emulsifier concentration were empirically proven to fit the predicted levels of physical properties from the final foam cakes.

**Key words:** physical properties, steamed form cakes, single-stage method, response surface methodology

#### 서 론

찜은 불을 사용할 수 있게 된 선사시대 이래로 가장 일반적인 조리형태이며(1), 증기로 찜 떡은 오랜 역사를 가지고 있다. 떡의 역사를 보면 정확하게 떡이 언제부터 만들어졌는지 밝히기는 어려우나 시루의 등장시기인 청동기시대 또는 초기 철기시대라 할 수 있다. 갈돌, 돌확, 시루가 발견된 것으로 미루어 각종 곡물을 갈돌이나 돌확에 갈아 시루에 찜 시루떡이 있었으리라고 짐작된다. 선사시대 생활에서도 시루에서 찜서 익혀 먹었던 것으로 추정하여 보아 찜은 아주 오래된 전통적인 조리법 중의 하나이며(2,3) 현재까지도 찜이라는 조리방법을 많이 이용하고 있다.

서양에서는 밀가루를 불에 구어 빵을 만들었고, 중국에서는 밀이 도입된 후 구운 빵 외에 증기로 찜는 찜빵이나 만두로 발전한 것이 4~5천년 전 일이고, 밀이 한국으로 전입된 경로는 확실치 않으나 『충주 조동리 선사유적 조사 보고서』(4)에 의하면 많은 곡물이 출토되었고, 그 중에서도 밀이 가장 많았다 하였고 3천년 전쯤으로 추정하여 볼 수 있어(5) 우리나라의 밀의 사용이 오래 되었음을 알 수 있고, 또한 증기로 찜는 찜빵 역사도 오래 되었음을 알 수 있다.

케이크는 달걀이나 버터를 휘핑하여 거품을 만들어 밀가루를 섞어 구워서 먹는 것으로 서양에서는 오븐이 발달하여 구워서 먹는 조리법이 발달하였다. 우리나라의 경우 오븐의 사용이 최근 많이 증가하였지만 아직까지도 손쉽게 이용할

\*Corresponding author. E-mail: msjang1@dankook.ac.kr  
Phone: 82-2-709-2429, Fax: 82-2-792-7960

수 있는 찌는 조리법을 더 많이 이용하고 있다.

케이크를 분류하면 기본재료로 버터를 넣고 베이킹 파우더와 소다를 넣어 부풀어 오르게 하는 쇼트드 케이크(shortened cake)와 버터를 넣지 않고 달걀에 공기를 결합시켜서 부풀어 오르게 하는 폼 케이크(foam cake)로 나눌 수 있다. 폼 케이크에는 에인절 푸드 케이크(angle food cake), 스폰지 케이크(sponge cake)와 시폰 케이크(chiffon cake) 등 세 가지 형태가 있다(6,7).

스폰지 케이크의 혼합방법은 거품을 내는 방법에 따라 공립법(sponge method), 단단계법(single-stage-method), 별립법(separated-egg-sponge method), 머랭법(meringue method) 등으로 나눌 수 있다(7-9). 단단계법은 유화제법이라고도 하며 유화제를 넣어 한번에 건조재료, 액체재료 등 모든 재료를 섞어 거품을 올리는 방법으로 거품을 내는 시간이 절약되고 반죽할 때 어려운 기법을 거치지 않고도 제품의 균일성을 기할 수 있는 장점이 있다(8,9). 그러나 유화제 사용량이 많을 경우 유화제의 특유의 맛이 케이크의 맛을 반감시키는 단점이 있다.

오븐에 구워 만드는 케이크를 찜이라는 조리법을 이용하게 되면 오븐이 없어도 케이크를 만들 수가 있고, 오븐을 이용하여 구울 때보다 만들기가 용이하며 시간이 단축될 수 있다.

오븐에 굽는 케이크에 관한 연구로는 식이 섬유를 첨가한 케이크에 관한 연구(10,11), 저장 수명 연장을 위한 연구(12), 울리고당을 이용한 스폰지 케이크에 관한 연구(13-17), 분리대두단백을 이용한 연구(18,19), 케이크 부피에 관한 연구(20), 천연 재료를 첨가한 연구(21-31), 저열량 케이크에 관한 연구(32-35), 저지방 전분을 이용한 연구(13), 유지를 이용한 케이크에 관한 연구(36) 등이 많이 진행되어 있다.

최근 제과제빵 업계에서는 케이크를 오븐에 굽지 않고 찜이라는 조리방법을 이용하는 것에 관심이 많아지고 있으나 찜을 이용한 케이크에 관한 연구는 솔잎가루 첨가량을 달리 한 찜 케이크에 관한 연구(23)와 가루녹차 첨가 거품형 찜 케이크의 관능적 특성의 최적화에 관한 연구(37)만이 이루어져 있을 뿐 아직까지 연구가 많이 이루어져 있지 않으며 앞으로 많은 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

케이크는 혼합방법이 중요하며, 재료를 충분히 반죽하지 않았거나 반죽을 너무 지나치게 했을 때는 제품이 나오지 않으므로, 케이크의 형태는 재료의 비율에 따라 다르며 또한 다루는 방법에 따라 다르게 된다(6). 현재 우리 나라의 제과제빵 업계에서는 각각의 상황에 맞게 혼합방법과 배합비율을 선택하여 케이크를 만들고 있으나 거품형 찜 케이크를 만들기 위한 혼합방법별 배합비율이 아직 확립되어 있지 않은 실정이다.

따라서 본 연구에서는 오븐에서 굽는 거품형 케이크의 단단계법을 찌는 방법에 적용하여 거품형 찜 케이크에 가장 적합한 배합비율을 반응표면분석법(response surface meth-

odology: RSM)으로 찾아 단단계법을 이용한 거품형 찜 케이크의 상품화에 기초자료를 만들것자 하였다.

## 재료 및 방법

### 실험재료

본 실험에 사용한 재료는 2004년 1월에 구입하여 사용하였다. 밀가루는 중력분(곰표 밀가루, 대한제분), 설탕은 정백당(삼양사), 달걀은 국내산 신선란(서산농장)을 구입하여 알끈을 제거한 후 사용하였고 술은 럼주(캡틴 Q, 알콜 35%, 롯데칠성), 소금은 재제염(순도 88% 이상, 샘표), 베이킹 파우더(가림산업), 유화제(SP100, 롯데)를 사용하였다. 본 실험에 사용한 밀가루는 수분 함량 11.2%, 조단백질 9.8%, 조회분 0.4%이었다.

### 단단계법을 이용한 찜 케이크 제조

기본 배합성분 및 비율은 Table 1과 같다. 20 mesh 체로 체 친 밀가루, 베이킹 파우더를 혼합한 후 유화제를 넣어 섞어 주었다. 수직형 전기믹서(B20-F, 宇宙産業, China)의 믹싱볼에 전란, 설탕, 소금, 물과 술을 넣고 저속(1단)에서 10초간 잘 섞은 후 밀가루, 베이킹 파우더와 유화제 섞은 것을 넣고 잘 섞이도록 저속에서 10초간 저어준 다음 3단으로 휘핑하였다. 케이크 반죽은 가로 11 cm, 세로 23 cm, 높이 6 cm의 케이크 팬에 400 g씩 팬닝하여 스팀 온도 100°C로 예열된 찜기(K-5DX, Arahata, Co., Japan)에서 23분간 찜냈다. 찜낸 케이크는 30 cm 높이에서 2회 총격편칭한 다음 팬에서 꺼내어 실온(20±2°C)에서 1시간 식힌 후 실험에 사용하였다.

### 반응표면분석법에 의한 실험계획

찜 케이크의 혼합방법별 최적의 배합비율을 선정하기 위하여 반응표면 분석법을 사용하였으며 실험계획은 중심합성 계획(central composite design)(38,39)을 통하여 부재료가 영향력을 미치는 한계 구간을 설정한 후 다섯 단계로 이용하였다. 거품형 찜 케이크 혼합방법별 부재료의 배합비율은 예비실험에 의하여 부호화하였다. 이때 독립변수를 X, 반응변수를 Y로 설정한 다음 무작위 순서로 실험하여 얻은 반응

Table 1. Standard formula of steamed foam cake prepared with single-stage method

Ingredient	Weight (g)	Baker's %
Wheat flour <sup>1)</sup>	500	100
Whole egg	800	160
Sugar	600	120
Salt	10	2
Baking powder <sup>2)</sup>	10	2
Water	50	10
Emulsifier	20	4
Rum (alcohol 35%, v/v)	50	10

<sup>1)</sup>Medium flour.

<sup>2)</sup>Ingredients: sodium hydrogen carbonate, disodium dihydrogen pyrophosphate, calcium phosphate monobasic and starch.

변수 Y값을 통계 program(Package SAS version 8.1)(39-41)을 이용하여 2차 다항 회귀식을 구하고 각 영양인자에 대해 model을 설명할 수 있는 1차선형 효과, 2차 곡선 효과 및 인자간 교호작용을 살펴보고 회귀식을 이용하여 독립변수에 대한 중속값의 반응표면 상태를 3차원 그래프와 등고선 분석(contour plot)을 통해 관찰하였다.

각 반응변수(Y)에 대한 모델식은 다음과 같다.

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \beta_{ij} X_i X_j + \epsilon$$

이때  $\beta_0$ 은 중심점이고,  $\beta_i$ 은 1차 선형 효과들,  $\beta_{ii}$ 은 2차 곡선 효과들,  $\beta_{ij}$ 은 교호작용의 계수를,  $\epsilon$ 는 나머지를 의미한다.

독립변수( $X_n$ )는 중심합성계획에 따라 실험점( $2^n$ )은 8개, 축점( $2n$ )은 6개, 중심점( $n_0$ )은 2개로 총 실험수를 16군으로 구분하였고, 이들 독립변수에 의해 영향을 받는 반응변수( $Y_n$ )는 통계 Package SAS(version 8.12)(40,41)를 이용하여 분석하였고, 반응표면 분석은 SAS의 RSREG(response surface regression analysis)방법으로 자료를 분석하였다. 회귀 분석 결과에서 정상점(stationary point)이 최대점이거나 최소점이 아니고 안장점(saddle point)일 경우나 실험영역을 벗어난 최대점·최소점일 경우에는 능선분석을 행하여 최적점을 구하였다. 삼차원 반응표면은 SAS/GRAPH의 G3D를 이용하여 얻었다(38).

케이크의 색도, 부피, 텍스처 항목을 반응변수로 하였고, 독립변수( $X_i$ )는 예비 실험결과를 통해 휘핑 시간( $X_1$ ), 밀가루의 양( $X_2$ )과 유화제의 양( $X_3$ ) 3개의 요인으로 설정하였다. Table 2와 같이 각 요인들의 수준은 -2, -1, 0, 1, 2로서 5단계로 부호화하였다. Table 3은 3요인 5단계로 하는 중심합성 실험계획법(38,39)에 의한 16개의 실험 처리구를 나타내었다.

#### 부피

단단계법으로 거품형 쪼뽀 케이크를 만들어 종자치환법을 이용하여 5회 반복 측정하여 평균값으로 하였다.

#### 색도

단단계법으로 거품형 쪼뽀 케이크를 만들어 케이크를 5×5×2 cm로 자른 후 색차계(JC-801S, Color Techno System Co., Tokyo, Japan)를 이용하여 명도(L), 적색도(a), 황색도(b), 총색차( $\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$ ) 값을 측정하였다. 측정은 최소한 5회 이상 반복하여 평균값으로 나타내었다. 이때

**Table 2. Levels of independent variables in central composite design for steamed foam cake prepared with single-stage method**

Independent variables	Code	Coded-variable levels				
		-2	-1	0	1	2
Whipping time (min)	X <sub>1</sub>	4	8	12	16	20
Wheat flour (g)	X <sub>2</sub>	460	480	500	520	540
Emulsifier (g)	X <sub>3</sub>	16	18	20	22	24

**Table 3. Experimental designs for the optimization of steamed foam cake prepared with single-stage method**

Experiment number <sup>1)</sup>	Experimental factor values					
	Coded values			Real values <sup>2)</sup>		
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>
1	-1	-1	-1	8	480	18
2	-1	-1	1	8	480	22
3	-1	1	-1	8	520	18
4	-1	1	1	8	520	22
5	1	-1	-1	16	480	18
6	1	-1	1	16	480	22
7	1	1	-1	16	520	18
8	1	1	1	16	520	22
9	0	0	0	12	500	20
10	0	0	0	12	500	20
11	-2	0	0	4	500	20
12	2	0	0	20	500	20
13	0	-2	0	12	460	20
14	0	2	0	12	540	20
15	0	0	-2	12	500	16
16	0	0	2	12	500	24

<sup>1)</sup>The number of experimental conditions by central composite design.

<sup>2)</sup>C<sub>1</sub>=hipping time (min), C<sub>2</sub>=wheat flour (g), C<sub>3</sub>=emulsifier (g).

사용한 표준 백색판(standard plate)의 L값은 98.85, a값은 -0.21 그리고 b값은 0.89이었다.

#### 텍스처

단단계법으로 거품형 쪼뽀 케이크를 만들어 원통(직경 3 cm)으로 찍어낸 다음 높은 2 cm로 일정하게 하여 texture analyzer(TATA-2, Stable Micro System, Ltd, UK)를 사용하여 50%의 변형율로 two-bite compression test를 이용하여 조직감을 측정하였다. 시료측정 후 얻어진 force and time graph로부터 견고성, 감성 및 씹힘성의 TPA(texture profile analysis) 특성치를 Bourne의 분류법(42)에 따라 분석하였다. 모든 측정은 10회 이상 반복하였고 데이터 분석은 average curve를 사용하였다. 사용한 기기의 측정조건은 Table 4와 같다.

#### 결과 및 고찰

단단계법을 이용하여 만든 거품형 쪼뽀 케이크의 제조방법의 최적화를 이루기 위하여 반응표면 분석법을 사용하였다.

**Table 4. Operating conditions for texture analyzer**

Instrument	Stable Micro System TA XT-2 Texture Analyser
Type	TPA (Texture profile analysis test)
Probe	Φ34 mm cylinder probe
Pre test speed	5.0 mm/s
Test speed	1.0 mm/s
Post test speed	5.0 mm/s
Distance	10.0 mm
Deformation	50%

중심합성계획에 의하여 휘핑 시간( $X_1$ ) 4~20분, 밀가루의 양 ( $X_2$ ) 460~540 g 및 유화제의 양( $X_3$ ) 16~24 g을 독립변수로 설정하고, -2, -1, 0, 1, 2로 코드화를 하였을 때 설정된 실험 점은 축점(6개), 중심점(2개) 및 반복 실험점(8개)을 기준으로 16개의 실험점이 설정되었고, 이를 coded value와 real value로 나타내었다(Table 3). 또한 code와 변수를 이용하여 2차 모형을 작성하였으며, 반응변수로는 거품형 썸 케이크

의 부피, 색도, 텍스처 특성을 살펴보았다.

부피

중심합성계획법에 의해 수행된 16개의 실험 조건하에서 거품형 썸 케이크를 제조한 후 반응변수인 부피, 색도, 텍스처 특성을 측정된 결과는 Table 5와 같다. 최적조건을 찾기 위하여 Table 5의 실험결과를 SAS program을 이용하여 2차 회귀식을 구한 결과는 Table 6과 같다. 단단계법으로 거

Table 5. Experimental data on the physical characteristics of steamed foam cake under different condition of whipping time ( $X_1$ ), wheat flour ( $X_2$ ), and emulsifier ( $X_3$ ) for central composite design prepared with single-stage method

Experiment number <sup>1)</sup>	Preparation conditions <sup>2)</sup>			Sensory scores <sup>3)</sup>							
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_4$	$Y_5$	$Y_6$	$Y_7$	$Y_8$
1	8 (-1) <sup>4)</sup>	480 (-1)	18 (-1)	1,432	85.34	2.01	34.09	36.08	315.87	180.00	185.28
2	8 (-1)	480 (-1)	22 (1)	1,550	86.40	0.32	35.03	36.49	209.82	130.25	120.92
3	8 (-1)	520 (1)	18 (-1)	1,300	85.70	1.10	32.04	33.92	265.07	157.40	153.93
4	8 (-1)	520 (1)	22 (1)	1,516	85.32	0.35	33.05	34.98	258.43	143.72	132.38
5	16 (1)	480 (-1)	18 (-1)	1,470	86.03	1.62	33.74	35.58	349.20	213.72	199.27
6	16 (1)	480 (-1)	22 (1)	1,537	85.92	1.43	33.28	35.08	266.38	144.65	156.53
7	16 (1)	520 (1)	18 (-1)	1,563	87.09	1.20	30.49	32.02	247.27	154.00	150.24
8	16 (1)	520 (1)	22 (1)	1,500	87.07	0.36	31.30	32.75	268.85	166.21	152.43
9	12 (0)	500 (0)	20 (0)	1,540	87.44	2.70	34.83	36.19	260.84	146.21	141.06
10	12 (0)	500 (0)	20 (0)	1,519	87.56	1.20	34.62	35.85	270.34	147.53	131.71
11	4 (-2)	500 (0)	20 (0)	1,300	83.64	1.22	32.42	34.53	275.05	164.30	150.60
12	20 (2)	500 (0)	20 (0)	1,485	86.64	0.76	31.09	33.83	262.44	157.70	141.98
13	12 (0)	460 (-2)	20 (0)	1,519	85.35	2.06	34.45	36.47	271.82	141.82	147.83
14	12 (0)	540 (2)	20 (0)	1,504	85.81	1.50	33.31	34.84	304.12	151.12	137.28
15	12 (0)	500 (0)	16 (-2)	1,475	85.84	1.33	33.86	35.27	346.38	225.38	218.86
16	12 (0)	500 (0)	24 (2)	1,584	85.46	0.20	34.87	35.75	222.04	135.36	126.46

<sup>1)</sup>The number of experimental conditions by central composite design.

<sup>2)</sup> $X_1$ =whipping time (min),  $X_2$ =wheat (g),  $X_3$ =number of folding.

<sup>3)</sup> $Y_1$ =volume,  $Y_2$ =L,  $Y_3$ =a,  $Y_4$ =b,  $Y_5$ = $\Delta E$ ,  $Y_6$ =hardness (g),  $Y_7$ =gumminess (g),  $Y_8$ =chewiness (g·cm).

<sup>4)</sup>Coded values.

Table 6. Polynomial equation calculated by response surface methodology program for steamed foam cake prepared with single-stage method

Response	Polynomial equation <sup>1)</sup>	R <sup>2</sup>	Significance
Volume	$Y_1 = -2000.250000 - 8.906250X_1 + 8.650000X_2 + 129.250000X_3 - 2.140625X_1^2 + 0.346875X_1X_2 - 0.011250X_2^2 - 5.156250X_1X_3 - 0.100000X_2X_3$	0.9128	0.0141
L	$Y_2 = -164.981250 - 0.844531X_1 + 0.930719X_2 + 2.004688X_3 - 0.049297X_1^2 + 0.004578X_1X_2 - 0.000888X_2^2 - 0.012656X_1X_3 - 0.004219X_2X_3 + 0.009375X_3^2$	0.8317	0.0802
Hunter's color values	$Y_3 = -38.876250 + 0.394531X_1 + 0.088656X_2 + 2.065938X_3 - 0.015000X_1^2 - 0.000953X_1X_2 - 0.000106X_2^2 + 0.022031X_1X_3 + 0.000906X_2X_3 - 0.074063X_3^2$	0.6971	0.3103
$\Delta E$	$Y_4 = -68.685625 + 2.640938X_1 + 0.422687X_2 - 1.027500X_3 - 0.046406X_1^2 - 0.002188X_1X_2 - 0.000528X_2^2 - 0.028125X_1X_3 + 0.004813X_2X_3 - 0.025000X_3^2$	0.8073	0.1120
Hardness	$Y_5 = 14.785625 + 2.695625X_1 + 0.112188X_2 - 1.346875X_3 - 0.028750X_1^2 - 0.003469X_1X_2 - 0.000228X_2^2 - 0.019375X_1X_3 + 0.005875X_2X_3 - 0.031875X_3^2$	0.7603	0.1873
Textural characteristics	$Y_6 = 10194 + 59.626094X_1 - 25.017594X_2 - 387.856562X_3 + 0.049297X_1^2 - 0.151984X_1X_2 + 0.013987X_2^2 + 0.803906X_1X_3 + 0.636906X_2X_3 + 1.163750X_3^2$	0.8664	0.0444
Gumminess	$Y_7 = 4597.021875 + 16.171719X_1 - 6.629719X_2 - 277.726562X_3 + 0.220781X_1^2 - 0.045359X_1X_2 - 0.000250X_2^2 + 0.102656X_1X_3 + 0.366719X_2X_3 + 2.093750X_3^2$	0.8866	0.0287
Chewiness	$Y_8 = 4965.873750 + 8.840625X_1 - 9.010875X_2 - 246.013125X_3 + 0.154766X_1^2 - 0.051937X_1X_2 + 0.003856X_2^2 + 0.708750X_1X_3 + 0.274188X_2X_3 + 2.267187X_3^2$	0.9020	0.0194

<sup>1)</sup> $X_1$ : whipping time (min),  $X_2$ =wheat (g),  $X_3$ =emulsifier (g).

Table 7. Analysis of variables for regression model of the physical characteristics in preparation of steamed foam cake prepared with single-stage method

Preparation conditions <sup>1)</sup>	F-ratio							
	Volume	Hunter's color values				Textural characteristics		
		L	a	b	$\Delta E$	Hardness (g)	Gumminess (g)	Chewiness (g · cm)
X <sub>1</sub>	10.88**	4.66*	0.82	3.43	1.89	0.89	0.63	0.92
X <sub>2</sub>	1.33	1.90	0.57	2.32	2.83	3.58	2.39	2.42
X <sub>3</sub>	5.57*	0.51	2.49	0.53	0.33	8.77*	10.78**	12.29**

<sup>1)</sup>X<sub>1</sub>=whipping time (min), X<sub>2</sub>=wheat (g), X<sub>3</sub>=emulsifier (g).

\*Significant at 5% level; \*\*Significant at 1% level.

Table 8. Predicted optimum conditions for the highest physical characteristic of steamed foam cake prepared with single-stage method

Physical characteristics	Preparation conditions					Morphology
	X <sub>1</sub> <sup>1)</sup>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Estimated response (max/min) <sup>2)</sup>		
Volume	8.92	463.25	20.36	1629.10 (max)	Saddle point	
Hunter's color values	L	11.53	497.74	23.99	87.99 (max)	Saddle point
	a	12.17	462.23	18.69	2.20 (max)	Saddle point
	b	11.82	461.20	19.03	34.94 (max)	Maximum
	$\Delta E$	12.49	461.52	18.93	36.99 (max)	Saddle point
Textural characteristics	Hardness	8.76	478.44	22.95	182.46 (min)	Saddle point
	Gumminess	10.14	471.41	22.64	108.94 (min)	Saddle point
	Chewiness	7.82	478.94	22.68	109.47 (min)	Saddle point

<sup>1)</sup>X<sub>1</sub>=whipping time (min), X<sub>2</sub>=wheat flour (g), X<sub>3</sub>=emulsifier (g).

<sup>2)</sup>max: maximum, min: minimum.

폼형 찜 케이크 제조 시 독립변수가 각 반응변수에 미치는 영향을 알아본 결과는 Table 7과 같다. 물리적 특성에 대하여 수립된 회귀식의 결정계수와 정상점에서의 조건과 정상점의 형태를 Table 8에 나타내었고, 3차원 반응표면은 Fig. 1~8에 나타내었다.

단단계법으로 제조한 거품형 찜 케이크의 경우 실험조건에 따라 부피는 1,300~1,584 mL의 범위를 보여주었으며 (Table 5), 회귀식의 경우 R<sup>2</sup>은 0.9124로 5% 이내의 수준에서 유의성이 인정되었다 (Table 6).

독립변수가 부피에 미치는 영향을 Table 7을 통하여 살펴본 결과 부피는 밀가루의 양에 대하여 크게 영향을 받지 않고, 휘핑 시간과 유화제의 양이 영향을 주었고, 특히 휘핑 시간이 가장 많은 영향을 주었다. 3차원 반응 표면의 정상점은 안장점의 형태를 보였으며 (Table 8, Fig. 1), 결정된 회귀식의 계수를 바탕으로 3차원 반응표면을 도식화한 결과 (Fig. 1) 휘핑 시간 길어질수록 유화제의 양이 작아질수록 부피는 감소하는 것을 알 수 있었다. 휘핑 시간을 너무 오래하거나 유화제의 양이 적을수록 오히려 부피는 작아지는 것을 알 수 있었다. 이는 휘핑 시간이 길어질수록, 섞는 횟수가 증가할수록 오히려 글루텐 형성이 과도하게 되고, 믹싱 중 기포의 파괴로 부피는 감소하는 것을 알 수 있었다.

#### 색도

실험조건에 따라 색도를 측정된 결과 L값은 83.64~67.56, a값은 0.20~2.70, b값은 30.49~35.03,  $\Delta E$ 는 32.02~36.49

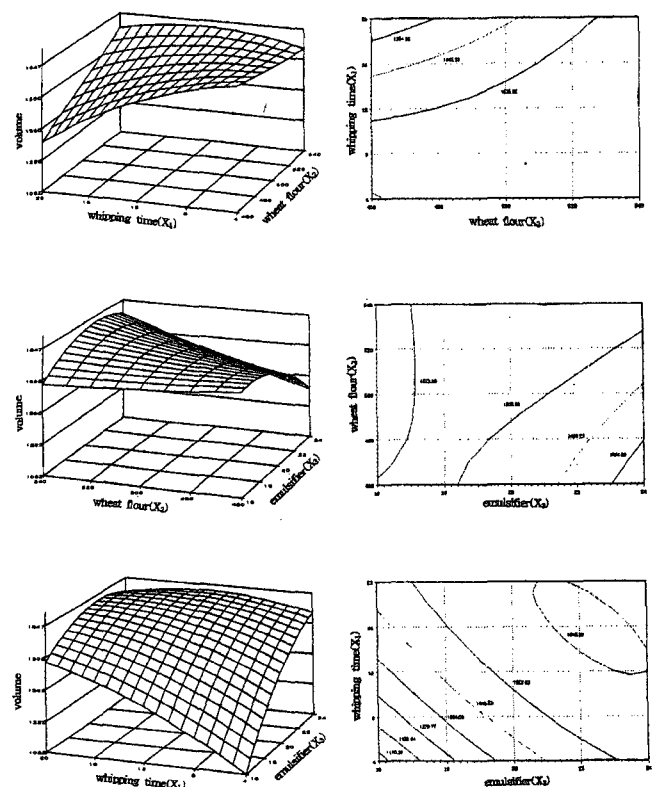


Fig. 1. A three-dimensional response surface and a two-dimensional contour plot illustrating optimal conditions for volume of steamed cake prepared with single-stage method.

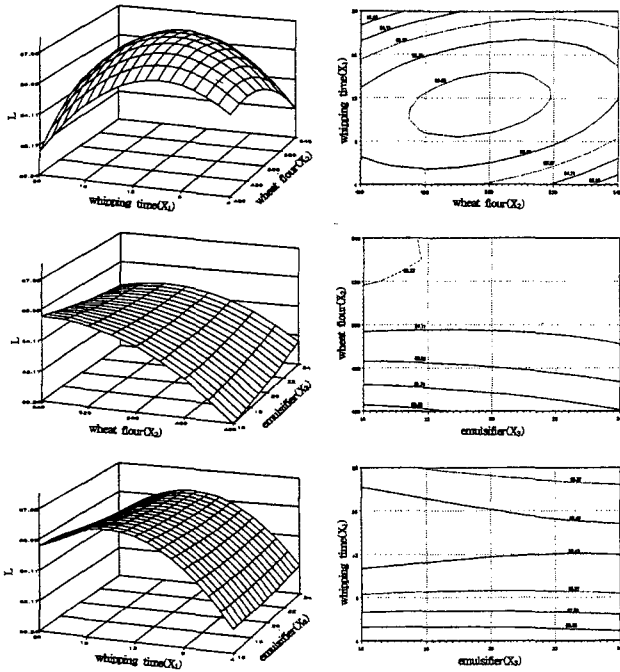


Fig. 2. A three-dimensional response surface and a two-dimensional contour plot illustrating optimal conditions for Hunter's color L value of steamed cake prepared with single-stage method.

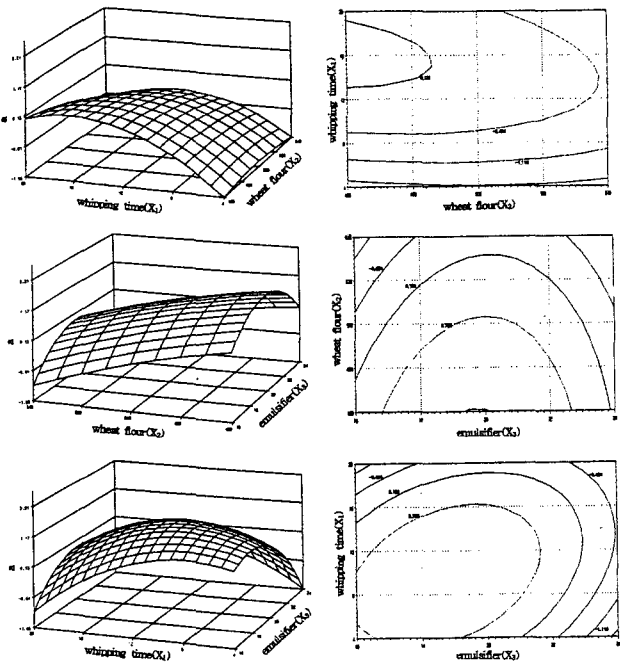


Fig. 3. A three-dimensional response surface and a two-dimensional contour plot illustrating optimal conditions for Hunter's color a value of steamed cake prepared with single-stage method.

로 나타났다(Table 5). 회귀식의 경우 L, a, b값과 ΔE에 대한 R<sup>2</sup>값은 0.8317, 0.7800, 0.8073, 0.7603으로 회귀식의 유의성이 인정되지 않았다(Table 6).

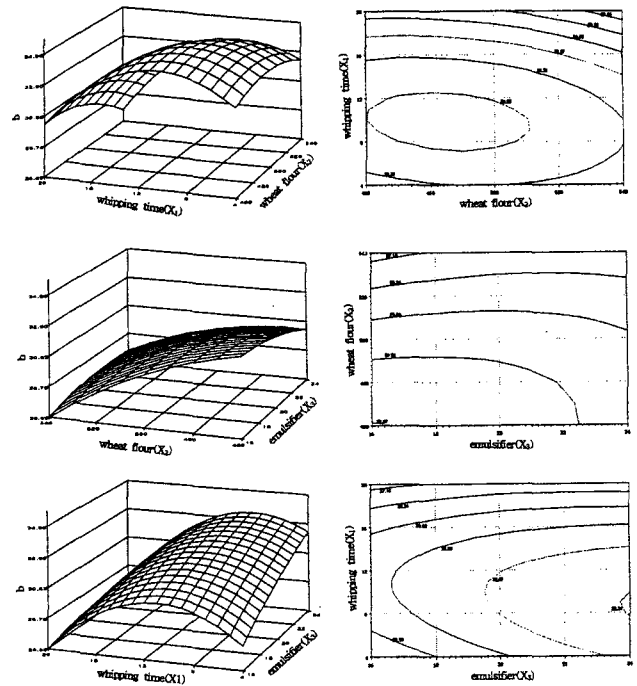


Fig. 4. A three-dimensional response surface and a two-dimensional contour plot illustrating optimal conditions for Hunter's color b value of steamed cake prepared with single-stage method.

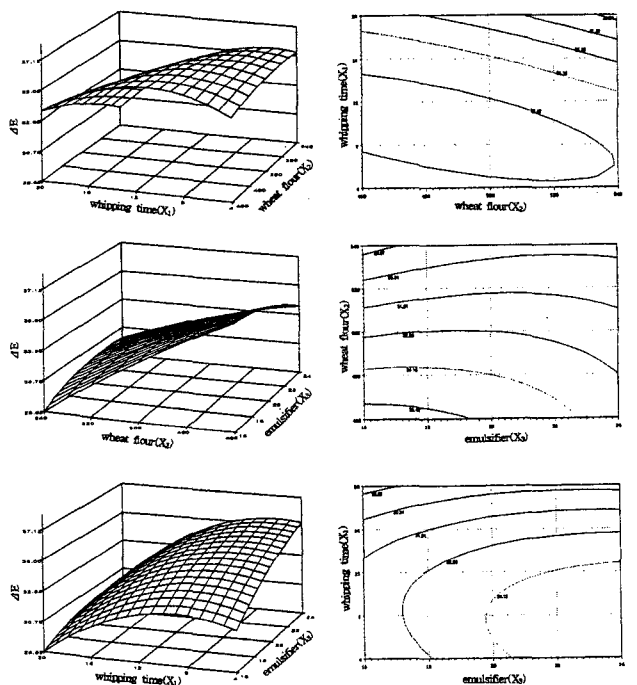


Fig. 5. A three-dimensional response surface and a two-dimensional contour plot illustrating optimal conditions for Hunter's color ΔE value of steamed cake prepared with single-stage method.

텍스처

텍스처 측정 결과 경도는 실험조건에 따라 209.82~349.20

g의 범위를 보여 주었다(Table 5). 회귀식의 경우  $R^2$ 값은 0.8664이었고 5% 이내의 수준에서 회귀식의 유의성이 인정되었다(Table 6). 유화제의 양만이 정도에 영향을 주는 것으로 나타났다(Table 7). 3차원 반응 표면의 정상점은 안장점의 형태를 보였으며(Table 8), 3차원 반응표면을 도식화한 결과 정도의 경우 유화제 양이 많을수록 낮은 값을 보여 거품형 찜 케이크가 부드러워지는 것을 알 수 있었다(Fig. 6).

검성은 16개의 실험조건에 따라 실험한 결과 130.25~225.38 g의 범위를 보여주었으며(Table 5), 회귀식의 경우  $R^2$ 는 0.8866으로 5% 이내의 수준에서 유의성이 인정되었다(Table 6). 유화제의 양이 검성에 영향을 주는 것으로 나타났다(Table 7). 3차원 반응 표면의 정상점의 형태는 안장점을 나타내었고(Table 8), 유화제의 양이 많을수록 찜 케이크가 부드러워졌지만 최적의 조건보다 많은 22.64 g 이상의 경우에는 검성의 값이 다소 증가하여 부드러움이 감소하는 것으로 나타났다(Fig. 7).

썩힘성은 실험조건에 따라 120.92~218.86 g·cm의 범위를 나타내었다(Table 5). 회귀식의 경우  $R^2$ 값은 0.9020으로 5% 이내의 수준에서 유의성이 인정되었다(Table 6). 썩힘성에는 유화제의 양이 영향을 주는 것으로 나타났다(Table 7). 3차원 반응 표면의 정상점은 안장점의 형태를 보였으며(Table 8), 3차원 반응표면을 도식화한 결과 썩힘성의 경우 유화제 양이 많아질수록 감소하다가 최적조건에서 최소값을 보인 후 증가하였다. 오히려 너무 많은 양의 유화제 첨가

는 거품형 찜 케이크가 부드러움을 감소시키는 것을 알 수 있었다(Fig. 8).

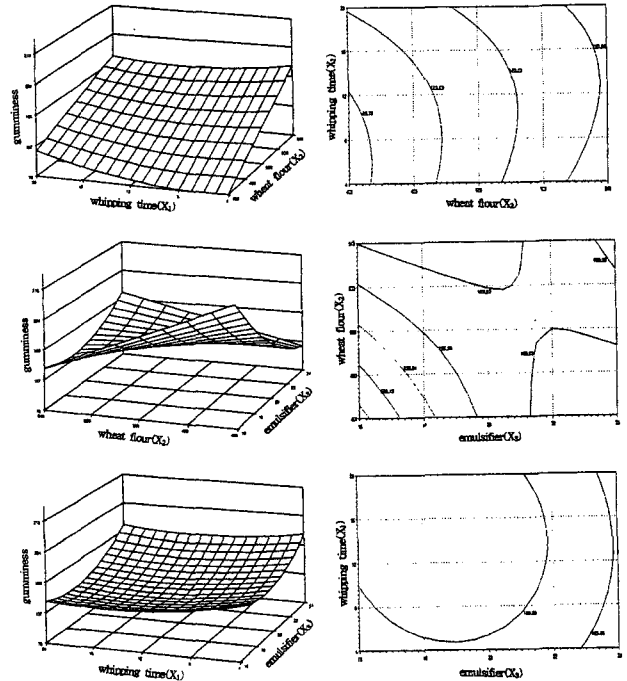


Fig. 7. A three-dimensional response surface and a two-dimensional contour plot illustrating optimal conditions for gumminess of steamed cake prepared with single-stage method.

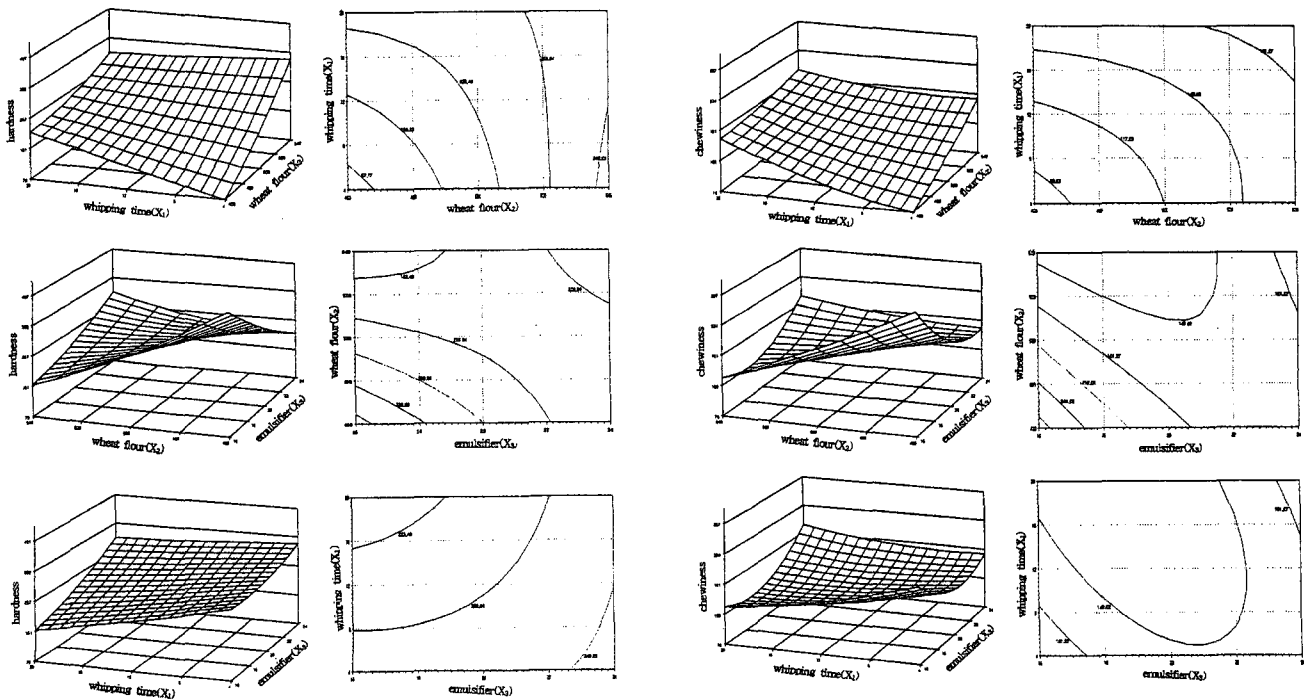


Fig. 6. A three-dimensional response surface and a two-dimensional contour plot illustrating optimal conditions for hardness of steamed cake prepared with single-stage method.

Fig. 8. A three-dimensional response surface and a two-dimensional contour plot illustrating optimal conditions for chewiness of steamed cake prepared with single-stage method.

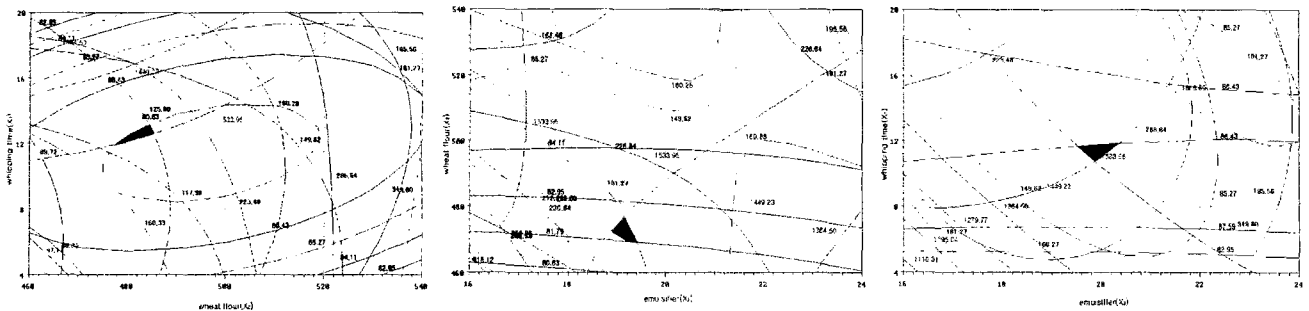


Fig. 9. Superimposed contour map for optimization of response variables in steamed cake prepared with single-stage method.

**최적조건의 결정**

최적조건 선정은 단단계법을 이용하여 거품형 찜 케이크를 제조할 경우 독립변수에 영향을 받으며 유의적인 차이가 인정된 반응변수 중 찜 케이크의 품질특성에 중요한 요인으로 작용하는 물리적 특성 중 부피, 경도, 검성과 씹힘성의 반응변수를 이용하여 최적의 조건을 설정하였다.

각 반응변수의 predicted level은 Table 8과 같으며 이 때 최적화 조건은 휘핑 시간, 밀가루의 양과 유화제의 양이 부피의 경우 8.92분, 463.25 g, 20.36 g, 경도는 8.76분, 478.44 g, 22.95 g, 검성은 10.14분, 471.41 g, 22.64 g, 씹힘성은 7.82분, 478.94 g, 22.68 g이었다.

이들의 contour map을 중첩하여 모두 만족시켜 주는 범위를 최적 조건으로 선정하였고, 나온 선들의 교집합을 각각의 독립변수의 최적의 조건으로 선정하였다. Superimposed map을 작성한 결과는 Fig. 9와 같고, 단단계법을 이용하여 거품형 찜 케이크를 제조할 경우 예측되는 최적 조건은 Fig. 9의 빗금친 부분으로 Table 9와 같이 휘핑 시간 11~13분, 밀가루의

양 470~486 g, 유화제의 양 19~20 g으로 각각 나타났다. 이상의 예측된 최적 조건을 검증하기 위하여 최적 조건 범위내의 중간점 즉, 휘핑 시간 12분, 밀가루의 양 478 g과 유화제의 양 20 g을 최적점으로 설정하여 실제 단단계법으로 거품형 찜 케이크를 만들어 물리적 특성을 측정하여 본 결과 Table 10과 같이 실제 값들은 예측된 값들과 유사한 수준의 결과를 보였다.

**요 약**

본 연구는 오븐에서 굽는 거품형 케이크 중 단단계법을 찌는 방법에 적용하여 혼합방법에 따른 거품형 찜 케이크의 가장 적합한 배합비율을 반응표면분석법으로 찾아 단단계법을 이용한 거품형 찜 케이크의 상품화와 산업화를 위한 기초자료를 만들고자 하였다. 휘핑 시간( $X_1$ , 4~20분), 밀가루의 양( $X_2$ , 460~540 g)과 유화제의 양( $X_3$ , 16~24 g)을 독립변수로 설정하고, 색도, 부피, 텍스처 항목을 반응변수로 하여 최적화한 결과 물리적 특성 중 부피의 경우 16개의 실험조건에 따라 1,300~1,584 mL, 색도의 L값은 83.64~67.56, a값은 0.20~2.70, b값은 30.49~35.03,  $\Delta E$ 는 32.02~36.49, 경도는 209.82~349.20 g, 검성은 130.25~225.38 g, 씹힘성의 경우 120.92~218.86 g·cm 범위의 결과를 나타내었고, 관능적 특성을 평가한 결과 외관 4.00~7.25, 색 4.83~7.50, 냄새 4.40~7.00, 맛 4.80~7.02, 부드러운 정도 4.20~7.50, 촉촉한 정도 5.44~7.67, 전반적인 기호도 5.00~7.98의 점수를 받았다. 회귀식을 검증한 결과 부피, 경도, 검성과 씹힘성은 5% 이내의 수준에서 회귀식의 유의성이 인정되었고, 관능적 특성의 냄새, 부드러운 정도, 촉촉한 정도와 전반적인 기호도는 5% 이내에서, 맛은 1% 이내의 수준에서 회귀식의 유의성이 인정되었다. 독립변수가 각 반응변수에 미치는 영향을 본 결과 유화제의 양이 물리적 특성에 가장 큰 영향을 주었고, 관능적 특성에서는 휘핑 시간과 유화제의 양이 중요한 변수로 작용하였다. 반응표면의 정상점의 형태는 물리적 특성에서 색도의 b값만 정상점에서의 형태가 최대점을 나머지 모든 항목은 안장점의 형태를 나타내었다. 관능적 특성 결과 전반적인 기호도의 경우 안장점의 형태를 보였고, 그

Table 9. The optimum range of steamed foam cake prepared with single-stage method for optimum response by superimposing of contour maps

	Whipping time (min)	Wheat flour (g)	Emulsifier (g)
Optimum range	11~13	480~490	19~24

Table 10. Predicted and experimental values of response variables of steamed foam cakes at optimized single-stage method

Response variables	Predicted	Experimental
Volume (mL)	1530.06	1562.00
Hunter's color values		
L value	86.51	87.88
a value	2.03	2.12
b value	33.89	33.96
$\Delta E$	36.45	36.05
Textural characteristics		
Hardness	272.36	258.82
Gumminess	150.01	140.50
Chewiness	148.12	137.75



이외의 항목은 최대점의 형태를 나타내었다. 결정된 회귀식의 계수를 바탕으로 3차원 반응표면을 도식화한 결과 최적 조건보다 과도한 휘핑 시간과 유화제 첨가는 오히려 부피가 감소하였고, 관능검사 결과 낮은 점수를 받아 좋아하지 않았다. 독립변수에 영향을 받으며 유의적인 차이가 인정된 반응 변수에서 썸 케이크의 품질특성에 중요한 요인으로 작용하는 물리적 특성 중 부피, 경도, 그리고 관능적 특성 중 맛, 냄새, 부드러운 정도, 촉촉한 정도, 전반적인 기호도의 contour map을 중첩하여 특성을 모두 만족시켜 주는 교집합을 각각의 독립변수의 최적의 조건으로 선정하였다. 그 결과 휘핑 시간 11~13분, 밀가루의 양 470~486 g, 유화제의 양 19~20 g으로 각각 나타났다. 이상의 예측된 최적 조건을 검증하기 위하여 최적 조건 범위내의 중간점 즉, 휘핑 시간 12분, 밀가루의 양 478 g과 유화제의 양 20 g을 최적점으로 설정하여 실제 단단계법으로 거품형 썸 케이크를 만들어 물리적 특성을 측정하여 본 결과 실제 실험 값들은 예측된 값들과 유사한 수준의 결과를 보였다.

## 문헌

1. 조창숙 외 19인. 1999. 한국음식대관 제 2권 주식·양념·고명·찬물. 한림출판사, 서울. p 434.
2. 이효지. 1998. 한국의 음식문화. 신광출판사, 서울. p 297-300.
3. 윤숙자. 1998. 한국의 떡·한과·음청류. 지구문화사, 서울. p 12-13, 86, 100.
4. 허분희, 이용조. 2001. 충주시 조동리 선사유적 조사보고서. 충주대학교 박물관. p 429.
5. 조승환. 2003. 한국 빵 과자문화사. 사단법인 대한제과협회, 서울. p 39-40, 666-668.
6. 장명숙, 박문옥, 김용식. 2004. 서양음식 -이론과 실제-. 신광출판사, 서울. p 319-322.
7. Mcwilliam M. 2001. *Food experimental perspectives*. 4th ed. Prentice Hall, New York. p 428-438.
8. 이명호, 이정훈, 김동호. 1999. 제과제빵 경영론. 형설출판사, 서울. p 213-214.
9. (주)롯데호텔. 1998. 조리직무교재. 서울. p 324-326.
10. Kang KC, Baek SB, Rhee KS. 1990. Effect of addition of dietary fiber on staling of cakes. *Korean J Food Sci Technol* 22: 19-25.
11. Suh DS, Chang PS, Kim KO. 2001. Physicochemical and sensory characteristics of layer cake containing selectively oxidized cellulose. *Korean J Food Sci Technol* 33: 216-220.
12. Kook SU. 1996. Usage of liquid sugars for shelf life extension of the cake. *Korean J Food & Nutr* 9: 259-264.
13. Lee KA, Lee YJ. 1997. Characteristics of high-ratio cakes prepared with isomaltoligosaccharide. *Korean Living Science Association* 6: 167-172.
14. Kim CS, Lee YS. 1997. Characteristics of sponge cakes with replacement of sucrose with oligosaccharides and sugar alcohols. *Korean J Soc Food Sci* 13: 204-212.
15. Kim YA. 1998. Effects of fructo-oligosaccharide and isomalto-oligosaccharide on quality and staling of cake. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 27: 875-880.
16. Lee KA, Lee YJ, Ly SY. 1999. Effects of oligosaccharides on physical, sensory and textural characteristics of sponge cake. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 28: 547-553.
17. Lee MR, Lee KA, Ly SY. 2003. Improving effects of fructooligosaccharide and isomaltoligosaccharide contained in sponge cakes on the constipation of female college students. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 32: 621-626.
18. Lee KA. 1997. Effect of isolated soy protein on sponge cake quality. *Korean J Soc Food Sci* 13: 299-303.
19. Lee SY, Park MJ, Choi AJ. 2001. Quality characteristics of soybean cheese and sponge cake containing enzyme-modified defatted soybean meal. *Chung-ang Journal of Human Ecology* 14: 105-126.
20. Choi KR. 1998. Effects of mixing time and specific gravity of cake batter on the bulk expansion. *MS Thesis*. Dongguk University.
21. Ahn JM, Song YS. 1999. Physico-chemical and sensory characteristics of cakes added sea mustard and sea tangle powder. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 28: 534-541.
22. Yi SY, Kim CS, Song YS, Park JH. 2001. Studies on the quality characteristics of sponge cakes with addition of yam powders. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 30: 48-55.
23. Oh SC, Nam HY, Cho JS. 2002. Quality properties and sensory characteristics of sponge cakes as affected by addition of *Dioscorea japonica* flour. *Korean J Soc Food Cookery Sci* 18: 185-192.
24. Kwhak SH, Moon SW, Jang MS. 2002. Effect of pine needle (*Pinus densiflora* Seib. et Zucc) powder on the sensory and mechanical characteristics of steam foam cake. *Korean J Soc Food Cookery Sci* 18: 399-406.
25. Kweon BM, Jeon SW, Kim DS. 2003. Quality characteristics of sponge cake with addition of laver powder. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 32: 1278-1284.
26. Kim YA. 2003. Effects of mulberry leaves powders on the quality characteristics of yellow layer cakes. *Korean J Food Sci Technol* 35: 871-876.
27. Lee HT. 2003. Effects of chitosan addition on the physicochemical and sensory characteristics of sponge cake. *MS Thesis*. Sejong University.
28. Kim HS. 2003. Changes in physicochemical properties of sponge cake produced by addition of xylitol and yucca extract. *MS Thesis*. Kunkuk University.
29. Jeong CH, Shim KH. 2004. Quality characteristics of sponge cakes with addition of *Pleurotus eryngii* mushroom powders. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 33: 716-722.
30. Byun JY. 2002. Effect of sweet-pumpkin powder substitution on the quality of sponge cake. *MS Thesis*. Dankook University.
31. Jeong HD. 2002. Effects of *wasabi* (*Wasabia wasabi* Matsum) powder on the quality of sponge cake during storage. *MS Thesis*. Dankook University.
32. Kim SJ. 1998. The rheological properties and optimum substitute level of low-calorie layer cake using carbohydrate-based fat replacers. *MS Thesis*. Hoseo University.
33. Song ES, Kim SJ, Kang MH. 2002. Physical and sensory characteristics of low calorie levels of hydrolyzed oat flour. *Korean J Food Sci Technol* 34: 51-56.
34. Song ES, Kim SJ, Byun KW, Kang MH. 2002. Physical and sensory characteristics of low-calorie layer cake made with maltodextrin. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 31: 1005-1010.
35. Kim HY, Kim YH. 2003. Optimaization of the reduced-calorie yellow layer cake preparations. *Korean J Food Culture* 18: 37-44.
36. Yang HY, Cho YJ, Oh SS, Park KH. 2003. Effects of ratio and temperature of soybean oil or butter on the quality of sponge cake. *Korean J Food Sci Technol* 35: 856-864.
37. 박성호, 김미정, 장명숙. 2004. 가루녹차 첨가 썸 케이크의 반응표면 분석법에 의한 관능적 특성의 최적화. 한국조리과학

- 회 국제학술대회 및 정기총회, 학술발표. p 108.
38. 성내경. 2000. SAS/Graph-통계그래픽스. 자유아카데미, 서울. p 201-246.
39. Raymond HM. 1995. *Response surface methodology*. John Wiley & Sonc Inc., New York. p 211-212.
40. 장지인, 박상규, 이경주. 1996. SAS/PC를 이용한 통계자료 분석. 법문사, 서울. p 75.
41. SAS Institute Inc. 2000. *SAS/Stat User's Guide*. Version 8. SAS Institute Inc, NC.
42. Bourne MC. 1978. Texture profile analysis. *J Food Technol* 32: 62-65.

(2004년 12월 27일 접수; 2005년 3월 25일 채택)