

두유박과 옥분 혼합물 압출성형 제조공정의 최적화

한규홍 · 김병용[†]

경희대학교 생명과학부 식품공학과

Optimization of the Extrusion Processing Conditions of Soy milk Residue and Corn Grits Mixture

Gyu-Hong Han and Byung-Yong Kim[†]

Dept. of Food Engineering, KyungHee University, Gyeonggi 449-701, Korea

Abstract

The extrusion conditions of the soy milk residue and corn grits mixtures were optimized. The experiment was designed according to the D-optimal design of response surface methodology (RSM), which shows 18 experimental points including 4 replicates for three independent variables (screw speed, water content and die temperature). The responses variables such as bending force, expansion ratio, bulk density, water solubility index (WSI), water absorption index (WAI), and color values (L^* , a^* , b^*) were evaluated using response surface analysis. Expansion ratio and WSI decreased with increasing water content, whereas bulk density tended to increase with increasing water content. While greater screw speeds enhanced WSI and yellowness, higher moisture contents decreased the expansion ratio and WSI value. However, die temperature did not influence upon the response variables. The optimum extrusion conditions by numerical and graphical methods were similar: the screw speed, water content, and die temperature were 250 rpm, 22.43% and 128.16°C by the numerical method; 250 rpm, 22.43%, and 128.02°C by graphical method.

Key words: soy milk residue, corn grit, extrusion, optimization

서 론

대두는 40%에 가까운 단백질과 필수 아미노산, 칼슘, 인, 철, 비타민 A, B 등을 함유하고 있어(1) 인간과 동물사료의 중요한 원료로 사용되고, 식품으로는 두부와 두유로 가공되어 소비되고 있다. 두부와 두유 제조시 부산물로 나오는 두유박에도 양질의 단백질을 함유하고 있어 산과 알칼리로 단백질을 추출하여 이용하거나(2,3) 버섯의 기질로 사용되었으며(4), 된장(5), 압출면(6), 식이섬유원(7)으로 가공되어 왔다. 이렇게 두유박에 있는 단백질과 식이섬유가 식품으로서 가능성이 있다는 것을 보여주었음에도 불구하고 현재 두유박의 이용은 동물사료에 국한되고 있고 일본 및 대부분의 아시아 국가에서는 쓰레기로 태워지거나, 땅속에 버려지고 있어(8) 이들 부산물을 식품이나 식품 소재로 이용하기 위하여 많은 연구가 행하여져야 할 필요성이 대두되었다.

압출성형은 스낵, 시리얼, 과자 등의 식품을 만드는데 널리 사용된다. 특히 시리얼을 가공하는데 있어 기름에 튀기거나, 굽는 과정을 거치지 않고 직접적으로 팽화된 식품을 만들 수 있어 산업적으로 많이 이용되고 있다(9). 이는 압출성형의 가공 처리가 열과 기계적 에너지에 의해 비교적 짧은 시간 내에

제품을 제조하고 제품의 조직과 형태를 변화시키는데 효과적이기 때문이다(10). 일반적으로 신제품을 만드는데 있어 압출성형은 공정변수에 따라 최종 제품의 특성이 크게 변화되기 때문에 최적화 개념이 필수적으로 적용된다(11). 즉, 스크류 속도, 성형 및 압출온도, 원료의 수분함량 등의 조건에 따라 제품의 품질이 결정되기 때문에 원하는 최적 제품을 가공하기 위한 각 공정 조건의 최적화는 필요하고, 이러한 공정 최적화에는 실험계획법에 의한 통계적인 분석을 통해서 이루어져야만 한다.

따라서 본 연구에서는 두유박과 옥분 혼합물의 압출성형물 제조에 있어 반응표면 분석법(RSM)을 이용하여 압출성형 공정의 스크류 회전속도, 수분함량, 사출구 온도 등의 조건들에 따른 실험계획을 설계하고, 압출성형을 통하여 제조한 제품의 품질특성을 분석하여 최적조건을 구명하였다.

재료 및 방법

재료

본 연구에 사용한 두유박(수분 3.4%, 조단백질 38.24% 조지방 16.17%, 조회분 4.19%)은 (주) 정식품에서 두유제조시

[†]Corresponding author. E-mail: bykim@khu.ac.kr
Phone: 82-31-201-2627, Fax: 82-31-202-0540

얻어지는 부산물을 수집한 즉시 -20°C에 저장하면서 사용하였고, 옥분은 (주) 신안식품의(bulk density 0.74 g/mL, 수분함량 10.28%) 것을 사용하였다. 두유박과 옥분은 50 : 50%의 비율로 혼합하여 각 수분함량의 조건에 맞게 수분을 첨가한 다음 압출성형을 하였다.

압출성형장치

본 연구에 이용한 압출성형 장치는 동방향 쌍축압출성형기(model IHM 30 TWIN, 인천기계, 한국)로서 스크류는 완전 맞물림형이다(스크류 직경: 31.0 mm, 사출구 직경: 4.0 mm, 모터 용량: 7.5 HP). 원료 투입 속도는 0.11 kg/min로 유지하였고, 압출온도는 온도 autosensor와 냉각수(또는 전기히터)를 이용하여 조정하였다. 제조된 압출성형물은 70°C의 열풍에서 풍속 3 m/s의 조건으로 수분함량이 10%이하가 되도록 건조하였다.

팽화율 및 용적밀도

팽화율은 6 cm의 원통형 압출성형물 10개의 직경을 측정 한 후 압출성형기 사출구의 지름에 대한 비율로 측정하여 평균값을 구하였고(12), 용적밀도는 각 압출성형물의 무게에 대한 부피를 나누어 계산하였다(13).

절단강도

압출성형물의 절단파손강도는 Rheometer(Sun Co., CD-200D, Tokyo, Japan)로 측정하였다. 원통형의 압출성형물 20개를 6 cm로 절단한 후 각각의 시료의 직경을 측정하고, 150 mm/min의 cross-head 속도로 압축하여 절단파손강도를 측정하였다.

색도

압출성형물의 색도 측정은 Warring blender(Dynamic Corp., Hartford, USA)로 25 mesh 이하 30 mesh 이상의 가루로 분쇄한 후, 색차계(Color Techno System Corp., JC801, Tokyo, Japan)를 이용하여 L*(lightness), a*(redness), 그리고 b*(yellowness)값을 10회 측정 한 뒤 평균값을 나타내었다.

수분용해지수(water solubility index: WSI) 및 수분흡수지수(water absorption index: WAI)

수분용해지수(WSI)는 Anderson의 방법(14)에 따라 분쇄한 시료 2.5 g에 물 40 mL를 가하여 상온에서 1시간 동안 교반한 후 3,000 rpm으로 10분간 원심 분리하였다. 상등액을 분리하고 남은 압출성형물에 포함된 수분 함량과 원래의 압출성형물의 무게비를 수분흡수지수(WAI)로 하였으며, 상등액 10 mL를 취하고 수분 칭량병에 넣어 105°C에서 4시간 동안 건조하여 측정 한 다음 식으로 WSI를 결정하였다.

$$WSI = \frac{(\text{Soluble solid g}/10 \text{ mL}) \times 40 \text{ mL}}{2.5 \text{ g}} \times 100\%$$

공정 최적화를 위한 실험 디자인

압출성형의 공정 최적화는 D-optimal design(15)에 따라

설계하였고, 모든 실험의 design 및 data 분석을 위하여 Design Expert 6(Stat-Easy Co., Minneapolis)를 사용하였다. 압출성형물을 제조하기 위한 독립변수로는 스크류 속도 150 ~ 250 rpm, 혼합물의 수분함량 20~30%, 사출구 온도를 100 ~ 150°C로 설정하였으며, 상세한 실험조건은 Table 1과 같다. 또한, 공정조건들이 압출성형물에 대해 미치는 효과를 보기 위하여 종속변수로는 수분용해지수(WSI), 수분흡수지수(WAI), 팽화율, 용적밀도, 절단파손강도 및 색도를 사용하였다.

최적화

Canonical 모형의 수치 최적화(numerical optimization)와 공정조건들에 대한 모형적 최적화(graphical optimization)를 통하여 최적화를 위한 스크류 속도, 혼합물의 수분함량, 온도를 선정하였고, 그 때의 점을 예측하였다. 수치 최적화는 canonical 모형을 근간으로 하는 모형의 계수에 각 반응에 대한 목표 범위(goal area)를 설정하고 다음 식에 의하여 구하였다.

$$D = (d_1 \times d_2 \times \dots \times d_n)^{\frac{1}{n}} = \left(\prod_{i=1}^n d_i \right)^{\frac{1}{n}}$$

여기서 D는 overall desirability(16), d는 각각의 desirability, n은 response의 수이다. 모형적 최적화는 각 반응에 대한 최소 혹은 최대 제한점을 결정하여 입력하였을 때 가능한 범위에서 그래프가 중첩되는 부분으로 구하였다.

결과 및 고찰

반응표면분석법에 의한 실험디자인

압출성형 공정이 두유박과 옥분 혼합물에 미치는 영향을

Table 1. Experimental design for the extrusion of soymilk residue cereal

Run	Screw speed (rpm)		Moisture content (%)		Temperature (°C)	
	Actual	Coded	Actual	Coded	Actual	Coded
1	217	0.3	27	0.3	100	-1.0
2	150	-1.0	20	-1.0	150	1.0
3	150	-1.0	20	-1.0	100	-1.0
4	150	-1.0	20	-1.0	150	1.0
5	225	0.5	25	0.0	125	0.0
6	150	-1.0	20	-1.0	125	0.0
7	250	1.0	30	1.0	150	1.0
8	250	1.0	30	1.0	125	0.0
9	150	-1.0	30	1.0	100	-1.0
10	250	1.0	20	-1.0	100	-1.0
11	150	-1.0	30	1.0	100	-1.0
12	217	0.3	20	-1.0	133	0.3
13	200	0.0	30	1.0	150	1.0
14	217	0.3	20	-1.0	133	0.3
15	150	-1.0	30	1.0	133	0.3
16	150	-1.0	25	0.0	125	0.0
17	250	1.0	20	-1.0	100	-1.0
18	250	1.0	25	0.0	150	1.0

살펴보기 위하여 반응표면분석법의 D-optimal design을 이용하여 실험디자인을 하였다. 압출성형의 공정 변수인 스크류 속도, 수분함량, 온도를 각각 150~250 rpm, 20~30%, 100~150°C로 설정하여 디자인하였을 때 18개의 실험점과 4개의 반복점이 설정되었다. 이러한 실험점과 반복점들은 실험의 구획내에서 최소한의 실험으로 유의성 여부를 확인하고, 검증할 수 있도록 설정된 것이다(16). 설정된 점들은 실제 변수 값인 actual value와 컴퓨터 프로그래밍 값인 coded value로 나타내었다(Table 1).

압출성형물의 팽화율(expansion ratio)

압출성형물의 팽화는 공정 조건과 원료 물질의 구성에 따라 달라지는데(17), 두유박과 옥분의 비율을 같이한 본 연구에서는 스크류 속도 150 rpm, 수분함량 20%, 온도 100°C일 때 팽화율이 가장 높았고, 각 공정 조건에 따라 0.81~1.64의

범위를 보여주었다(Table 2). 압출성형의 공정에 따라 스크류 속도가 높고 수분함량이 낮을수록 팽화가 크게 일어났는데, 이는 원료의 점도가 감소되어 압출 후 수분증발이 쉽게 일어났기 때문이다(18).

공정 변수가 압출성형물의 팽화에 대해 미치는 효과를 살펴보기 위해 반응표면분석을 이용하여 나타낸 회귀식은 다음과 같다(Table 3).

$$Y = 2.21A - 0.06B - 0.01C + 1.11$$

즉, 팽화에 대해서는 스크류 속도(A), 수분함량(B), 온도(C)에 각각 독립적으로 영향을 받는 linear 모델($R^2=0.9115$)이 선택되었으며, 5%이내의 높은 유의성을 보여 모델의 성립을 보여주었다. Aguilera와 Kosikowski(19)는 식품의 압출성형에서 90% 이상이 2차 모델식에 적용된다고 하였지만, 실제 원료와 공정 조건에 따른 모델 적용을 해야 되는 것으로

Table 2. Quality characteristics of extruded soymilk residue cereals at various conditions by D-optimal design

Run	Expansion ratio	Bulk density (g/cm ³)	Bending force (kPa)	WSI ¹⁾ (%)	WAI ²⁾ (g/g)	L*	a*	b*
1	1.18	0.49	854.25	19.69	5.66	58.67	8.50	32.36
2	1.28	0.29	1241.07	28.67	6.74	60.65	9.23	32.91
3	1.64	0.36	782.73	17.45	7.06	58.60	8.98	30.76
4	1.28	0.29	1242.82	28.68	6.74	60.65	9.23	32.91
5	1.34	0.28	954.59	27.13	5.40	56.58	9.74	31.87
6	1.33	0.37	1661.78	27.32	5.85	60.62	9.17	31.98
7	0.81	0.48	1436.35	29.26	6.37	62.67	8.74	31.73
8	1.34	0.39	842.26	25.88	5.39	56.15	9.78	30.63
9	1.00	0.64	1778.59	14.03	6.96	59.97	9.12	29.59
10	1.39	0.28	960.11	28.78	6.13	58.87	9.58	31.47
11	1.00	0.63	1776.89	14.03	6.96	59.97	9.12	29.59
12	1.34	0.29	1070.16	31.44	6.10	61.02	9.52	32.24
13	1.11	0.28	1327.21	24.78	5.30	56.40	10.25	31.73
14	1.34	0.29	1072.24	31.43	6.11	61.02	9.52	32.24
15	1.19	0.46	1122.74	17.79	4.90	57.45	9.79	30.76
16	1.32	0.45	681.71	23.66	5.13	57.43	9.68	30.71
17	1.39	0.28	961.35	28.78	6.13	58.87	9.58	31.47
18	1.29	0.25	838.83	30.14	5.51	58.12	10.17	32.84

¹⁾WSI: Water solubility index.

²⁾WAI: Water absorption index.

Table 3. Analysis of predicted model equation for the quality characteristics of extruded soymilk residue cereals

Response	Predicted model equation	Model	F-value	Prob.>F	R ²
Expansion ratio	$Y = 2.21A^{1)} - 0.06B^{2)} - 0.01C^{3)} + 1.11$	Linear	5.74	0.0089	0.9115
Bulk density	$Y = -0.05A + 0.09B - 0.06C + 0.39$	Linear	18.01	<0.0001	0.9742
Bending force	$Y = -65.67A + 75.12B + 40.67C - 18.31A^2 + 428.80B^2 + 103.43C^2 - 56.96AB + 103.42AC - 147.29BC + 759.73$	Quadratic	2.13	0.1751	0.7233
WSI	$Y = 3.61A - 3.66B + 3.96C + 24.91$	Linear	71.85	<0.0001	0.9390
WAI	$Y = 0.01A - 0.31B - 0.21C + 0.07A^2 + 0.70B^2 + 0.70C^2 + 0.13AB + 0.35AC - 0.37BC + 4.95$	Quadratic	15.24	0.0044	0.9133
L*	$Y = 0.35A - 1.03B + 0.42C + 0.20A^2 + 1.92B^2 + 0.79C^2 - 0.053AB + 0.99AC - 0.97BC + 56.86$	Quadratic	4.92	0.2780	0.5597
a*	$Y = 0.022A - 0.077B + 0.36C - 0.032AB - 0.034AC + 0.16BC + 9.43$	2FI	1.83	0.1998	0.4623
b*	$Y = 0.25A - 0.70B + 0.95C + 31.39$	Linear	5.87	<0.0001	0.9601

판단된다. 선택된 모델에 대한 반응표면과 trace plot은 Fig. 1과 같다. 반응표면은 스크류 속도가 높고 수분함량이 낮을수록 팽화율이 높아졌 으며, 세가지 공정 변수의 기여도를 나타내는 trace plot은 수분함량(B-B선)이 증가할수록 팽화율을 낮추는 것으로 나타내고 있다.

용적밀도(bulk density)

압출성형 공정 조건에 따른 압출성형물의 용적밀도는 0.25 ~ 0.64 g/cm³의 범위를 보여주었다(Table 2). 일반적으로 압출성형물의 용적밀도는 팽화율이 감소함에 따라 증가하는데 (20), 본 연구에서도 이와 유사하게 팽화율의 반응표면과 반대의 경향을 보여주었다(Fig. 2). 공정이 용적밀도에 미치는 기여도를 본 trace plot에서는 수분함량(B-B선)이 증가할수록 용적밀도를 높이고, 스크류 속도(A-A선)와 온도(C-C선)가 증가할수록 용적밀도를 낮추는 것으로 나타났다. 이는 스크류 속도와 온도가 증가 할수록 기계적 에너지와 열 에너지를 증가시켜 압출성형물의 호화를 많이 일으키기 때문인 것

으로 사료된다(21).

용적밀도의 반응표면을 분석하여 나타낸 회귀식은 다음과 같다(Table 3).

$$Y = -0.05A + 0.09B - 0.06C + 0.39$$

용적밀도 역시 스크류 속도(A), 수분함량(B)와 온도(C)가 독립적으로 작용하는 linear 모델(R²=0.9742)이 결정되었고, 모델 성립에 관한 5% 이내의 유의성에 만족하였다(p<0.0001).

절단강도(bending force)

압출성형물의 부러지는 강도를 측정할 절단강도는 용적 밀도가 0.64 g/cm³로 가장 크게 나타났던 스크류 속도 150 rpm, 수분함량 30%, 온도 20°C에서 1778.59 kPa로 가장 강하게 나타났다. 절단강도는 압출성형물의 팽화와 밀접적인 관계가 있는데 팽화가 작으면 작을수록 절단강도는 커진다(17). 하지만 본 연구에서 절단강도를 분석하였을 때에는 quadratic 모델(R²=0.7233)이 성립되었음에도 불구하고 유의성을 보이지 않아 결과를 예측하지 못하였다. 이는 Chávez-Jáuregui

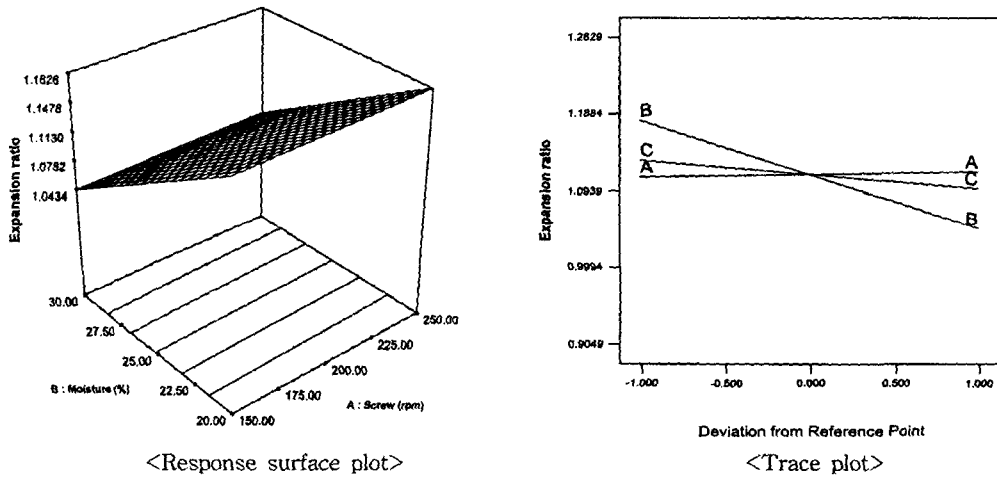


Fig. 1. Response surface and trace plot for the effect of screw speed (A), moisture (B), and temperature (C) on expansion ratio of the soymilk residue extrudates.

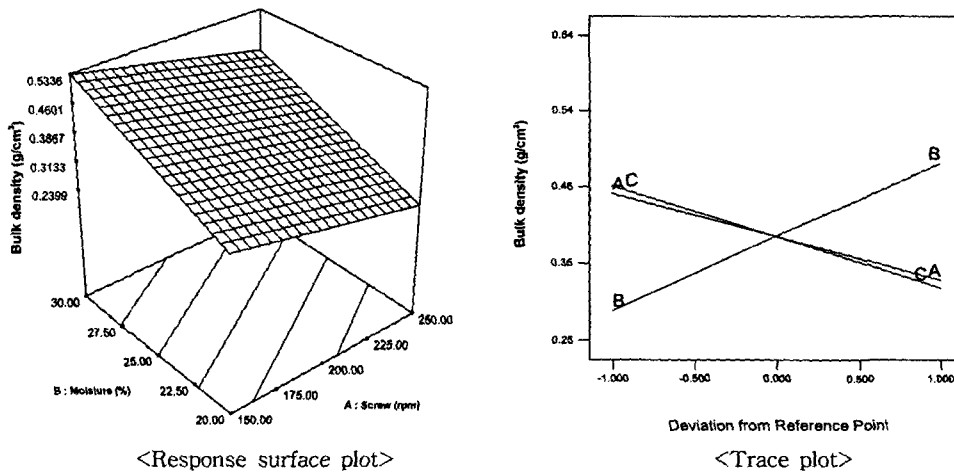


Fig. 2. Response surface and trace plot for the effect of screw speed (A), moisture (B), and temperature (C) on bulk density of the soymilk residue extrudates.

등(22)의 amaranth 압출성형에서 보여주었던 strength 결과와 유사하였는데, 압출성형물의 균일하지 않은 팽화와 미세조직구조의 차이에서 생기는 현상으로 생각된다.

절단강도에 대한 반응표면 곡선에서는 수분함량이 많을수록 높은 강도를 보이다가 22~26%일 때 낮은 강도를 보여주었고(Fig. 3), trace plot에 나타난 결과 역시 수분함량(B-B선)이 증가할수록 절단강도가 감소하다 증가하는 추세를 보여주고 있다. 또한 스크류 속도(A-A선)가 증가할수록 절단강도는 감소되고, 온도(C-C선)가 증가할수록 절단강도는 증가되고 있지만, 각 공정 변수의 독립적인 작용보다는 상호작용을 통하여 절단강도가 결정됨을 알 수 있다.

수분용해지수(water soluble index) 및 수분흡착지수(water absorption index)

압출성형물의 수분용해지수(WSI)와 수분흡착지수(WAI)를 측정하여 Table 2에 나타내었다. 공정 조건에 따라 상이한 열과 기계적 에너지가 전분에 영향을 주어 달리 나타나는

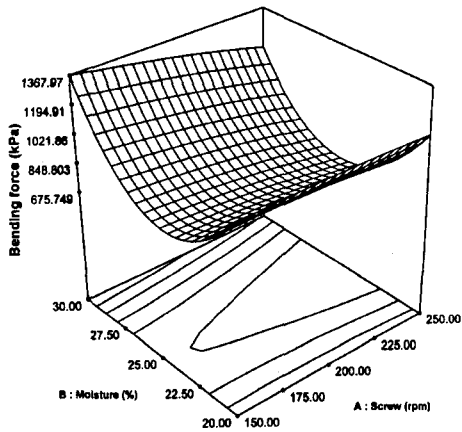
WSI는 14.03~31.44%, WAI는 5.13~7.06 g/g의 반응 범위를 보여주었고, 반응 결과를 분석하여 나타난 각각의 회귀식은 다음과 같다(Table 3).

$$WSI: Y = 3.61A - 3.66B + 3.96C + 24.91$$

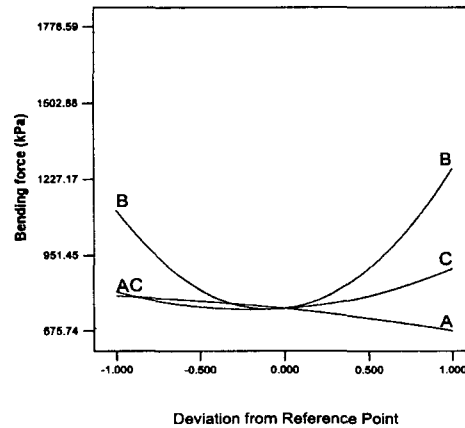
$$WAI: Y = 0.01A - 0.31B - 0.21C + 0.07A^2 + 0.70B^2 + 0.70C^2 + 0.13AB + 0.35AC - 0.37 + 4.95$$

WSI의 경우 linear 모델($R^2=0.9390$)이 성립되었고, 모델에 대한 유의성도 <0.0001 로 적합하였다. 성립된 모델의 반응표면곡선으로 WSI는 스크류 속도가 높고, 수분함량이 낮을수록 높아지는 것을 알 수 있다(Fig. 4). 또한 압출성형 온도가 높을수록 전분 뿐만 아니라 수용성 단백질에 영향을 주어 WSI가 높아지는데 (23), 본 연구에서도 온도가 높아질수록 두유박의 수용성 단백질과 옥분의 전분이 분해되어 WSI가 증가하는데 영향을 준 것으로 판단된다.

WAI는 0.0044의 유의성을 가지는 quadratic 모델($R^2=0.9133$)로 결정되었고, trace plot(Fig. 5)을 통하여 볼 때, 스

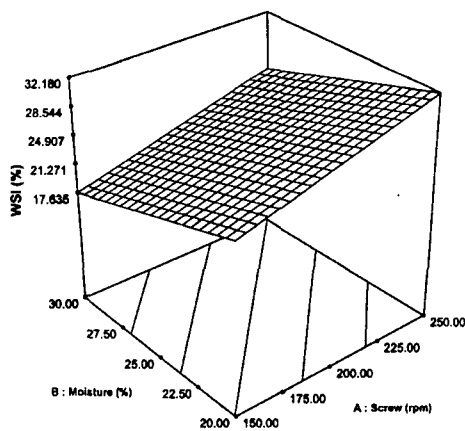


<Response surface plot>

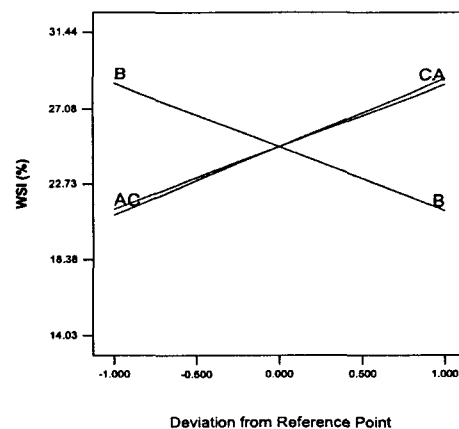


<Trace plot>

Fig. 3. Response surface and trace plot for the effect of screw speed (A), moisture (B), and temperature (C) on bending force of the soymilk residue extrudates.



<Response surface plot>



<Trace plot>

Fig. 4. Response surface and trace plot for the effect of screw speed (A), moisture (B), and temperature (C) on WSI of the soymilk residue extrudates.

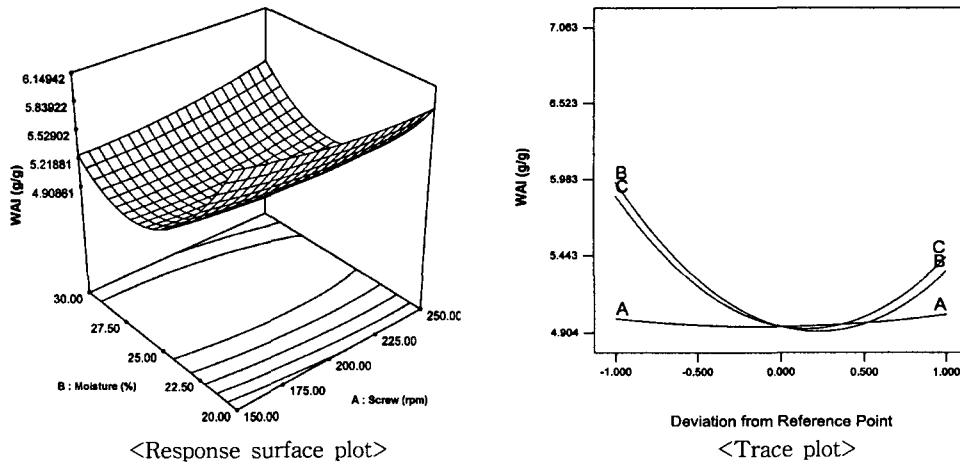


Fig. 5. Response surface and trace plot for the effect of screw speed (A), moisture (B), and temperature (C) on WAI of the soymilk residue extrudates.

Table 4. Optimum processing values using two analytical methods

Constraints name	Goal	Numerical optimization solution	Goal	Graphical optimization solution
Screw (rpm)	is in range	245.00	is in range	245.00
Moisture (%)	is in range	22.43	is in range	22.43
Temperature (°C)	is in range	128.16	is in range	128.02
Expansion ratio	maximize	1.316	maximize	1.316
WAI (g)	minimize	5.365	minimize	5.350
b*	maximize	32.115	maximize	32.159

스크류 속도보다는 수분함량과 온도가 WAI에 많은 영향을 주었다. 즉, 수분함량이 25~27%, 온도가 120~130°C 되는 부근에서 최소값을 보여주었고, 다시 수분함량과 온도가 증가할수록 WAI값도 증가하였다. 이는 강낭콩을 압출성형할 때 110°C에서 132°C로 증가할수록 WAI가 증가하다가 150°C까지는 WAI가 감소한다는 Gujska와 Khan의 연구(24)와 상반된 결과를 보여주었지만, 단일 성분이 아닌 혼합물로 인하여 나타나는 결과로 사료된다.

색도

공정 조건이 압출성형물에 색도에 미치는 영향을 Table 2의 결과를 바탕으로 반응표면 분석을 통하여 Table 3과 Fig. 6에 나타내었다. 전체적으로 압출성형물의 색도는 공정 조건에 따라 뚜렷한 차이를 보이지 않아 L*값의 경우 quadratic 모델(R²=0.5597), a*값의 경우 2FI 모델(R²=0.4623) 모두 유의성을 보여주지 않았다. 다만 황색도를 나타내는 b*값이 <0.0001의 유의적인 linear 모델(R²=0.9601)로서 결정되어 최적화를 위한 반응으로 설정되었다. 일반적으로 압출성형에서 색도는 원료물질의 수분함량과 온도가 많은 영향을 미치는데 두유박과 옥분 압출성형물에서는 20%의 수분함량과 150°C의 성형온도에서 높은 b*값을 나타내었다.

압출성형 공정의 최적화

압출성형 공정의 최적화 접근은 Derringer와 Suich(16)를 근원으로 하여 발전시킨 방법을 사용하였다. 우선 본 연구의

스크류 속도, 수분함량, 온도의 범위내에서 목적(goal)으로 하는 팽화율은 최대, WAI는 최소, b*값은 최대로 결정하고 (Table 4), 모델화에 의해 결정된 반응식을 이용하여 만족하는 수치 점(numerical point)을 예측하였다. 예측된 최적값은 스크류 속도 250 rpm, 수분함량 22.43%, 온도 128.16°C이었다.

최적화 접근의 다른 방법으로 팽화율과 WAI, b*값의 반응 모형을 이용한 모형적 최적화(graphical optimization)는 Fig. 7에 나타내었다. 수치 최적화(numerical optimization)과 달리 각 반응 모형 그래프의 중첩되는 범위를 최대의 desirability로 나타내었는데, 0.453~0.727의 반응표면을 보여주었다. 이 때 결정된 최적화 점으로는 desirability 0.727에 해당하는 스크류 속도 250 rpm, 수분함량 22.43%, 온도 128.02°C로 수치 최적화 점과 유사하게 나타났다(Table 4).

요 약

두유박과 옥분 혼합물의 압출성형물을 제조하기 위한 공정 조건의 위하여 스크류 속도 150~250 rpm, 혼합물의 수분함량 20~30%, 온도 100~150°C의 조건에서 압출성형하고, 반응표면분석법(RSM)을 이용하여 최적조건을 분석하였다. 공정 조건에 따른 팽화율에서는 스크류 속도가 높고 수분함량이 낮을수록 팽화가 크게 일어났고, 수분함량이 많을수록 용적밀도를 높이는 것으로 나타났다. 절단강도의 경우 수분함량에 따라 감소하다 증가하는 추세를 보여주었고, WSI는

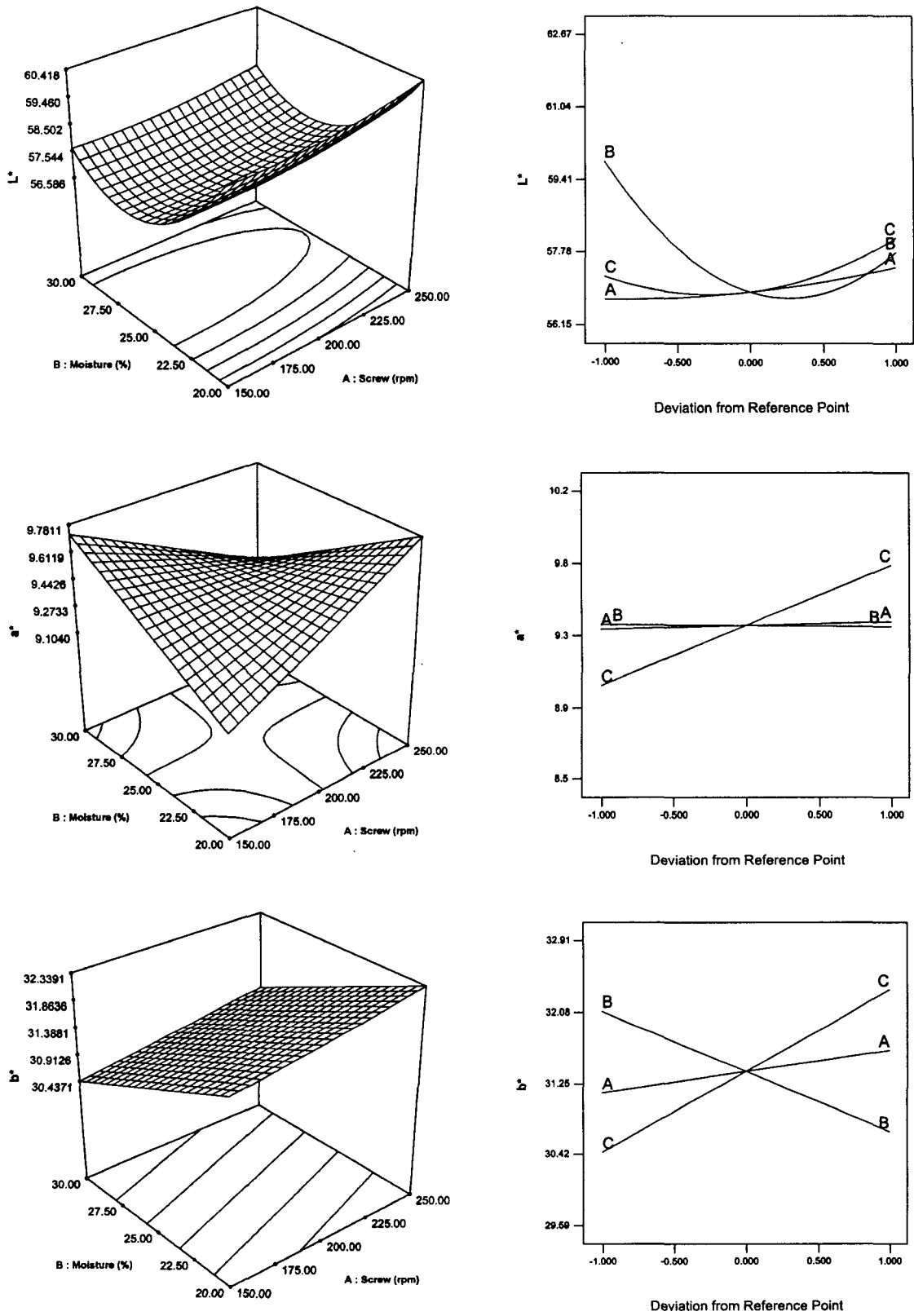


Fig. 6. Response surface and trace plot for the effect of screw speed (A), moisture (B), and temperature (C) on color (L^* , a^* , b^*) of the soy milk residue extrudates.

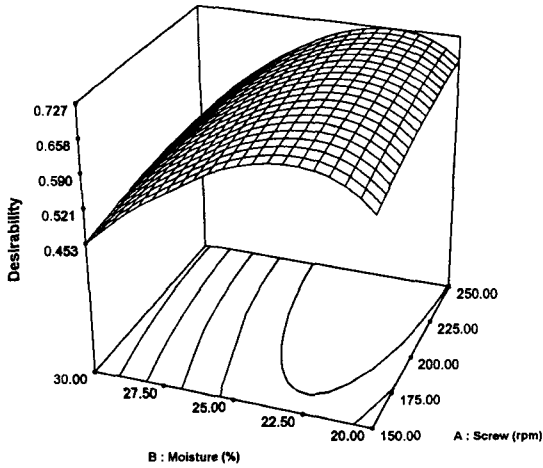


Fig. 7. Three-dimensional graph of the optimal processing region by desirability.

스크류 속도와 수분함량에 WAI는 수분함량과 온도에 많은 영향을 받았다. 색도에서는 b*값을 제외하고는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 각 조건별 실험결과를 반응표면분석을 한 결과 팽화율과 용적밀도, WSI, b*값은 linear 모델로 결정되었고, 절단강도와 WAI는 quadratic 모델이 유의성을 나타내었다. 압출성형 공정의 최적화는 결정된 반응식과 반응표면 그래프를 이용한 결과 수치 최적화에서는 스크류 속도 250 rpm, 수분함량 22.43%, 온도 128.16°C이었고, 모형적 최적화에서는 desirability가 0.727인 스크류 속도 250 rpm, 수분함량 22.43%, 온도 128.02°C로 결정되었다.

문헌

1. Genta HD, Genta ML, Alvarez NV, Santana MS. 2002. Production and acceptance of a soy candy. *J Food Eng* 53: 199-202.
2. Ma CY, Liu WS, Kwok KC, Kwok F. 1997. Isolation and characterization of proteins from soymilk residue (okara). *Food Res Int* 29: 799-805.
3. Chan WM, Ma CY. 1999. Acid modification of proteins from soymilk residue (okara). *Food Res Int* 32: 119-127.
4. Cheung PCK. 1995. Biological conversion of soybean waste to edible mushroom mycelium by submerged fermentation. In *Proceedings of the Fourth Pacific Rim Biotechnology Conference*. Sydney, Australia. p 96-97.
5. Kim ZU, Bang CS, Choi JB, Lim CS. 1989. Utilization of soymilk residue for wheat doenjang. *J Korean Soc Agric Chem Biotechnol* 32: 357-361.
6. Kim ZU, Park WP. 1990. Making of extruded noodles mixed

- with soymilk residue. *J Korean Soc Agric Chem Biotechnol* 33: 216-222.
7. Hong JS, Kim MK, Yoon S, Ryu NS. 1993. Preparation of dietary fiber sources using apple pomace and soymilk residue. *J Korean Soc Agric Chem Biotechnol* 36: 73-79.
8. Ohno A, Ano T, Shoda M. 1993. Production of the antifungal peptide antibiotic, iturin by *Bacillus subtilis* NB22 in solid-state fermentation. *J Ferment Bioeng* 75: 23-27.
9. Matz SA. 1993. *Snack Food Technology*. 3rd ed. Van Nostrand Reinhold, New York, USA.
10. Suknark K, Phillips RD, Chinnan MS. 1997. Physical properties of directly expanded extrudates formulated from partially defatted peanut flour and different types of starch. *Food Res Int* 30: 575-583.
11. Shin HH, Park BS, Lee HL, Choi MJ, Hwang JK. 1991. Analysis of whole grains extrusion by response surface methodology. *Korean J Food Sci Technol* 33: 686-692.
12. Alavi SH, Gogoi BK, Khan M, Bowman BJ, Rizvi SSH. 1999. Structural properties of protein-stabilized starch-based supercritical fluid extrudates. *Food Res Int* 32: 107-118.
13. Park KH. 1976. Elucidation of the extrusion puffing process. *PhD Dissertation*. University of Illinois.
14. Anderson RA. 1982. Water absorption and solubility and amylograph characteristics of roll-cooked grain products. *Cereal Chem* 59: 265-269.
15. Myers RH, Montgomery DC. 1995. *Response Surface Methodology: Process and product optimization using designed experiments*. John Wiley & Sons, New York. p 364-370.
16. Derringer G, Suich R. 1980. Simultaneous optimization of several response variables. *J Quality Technol* 12: 214-219.
17. Chinnaswamy R, Hanna MA. 1988. Optimum extrusion-cooking conditions for maximum expansion of corn starch. *J Food Sci* 53: 1464-1469.
18. Alvares-Martinez L, Kondury KP, Harper JM. 1988. A general model for expansion of extruded products. *J Food Sci* 53: 609-615.
19. Aguilera JM, Kosikowski FV. 1976. Soybean extruded product: a response surface analysis. *J Food Sci* 41: 647-651.
20. Case SE, Hanna MA, Schwartz SJ. 1992. Effect of starch gelatinization on physical properties of extruded wheat-and corn-based products. *Cereal Chem* 65: 138-143.
21. Guha M, Ali SZ, Bhattacharya S. 2003. Screening of variables for extrusion of rice flour employing a Plackett-Burman design. *J Food Eng* 57: 135-144.
22. Chávez-Jáuregui RN, Silva MEMP, Arêas JAG. 2000. Extrusion cooking process for amaranth (*Amaranthus caudatus* L.). *J Food Sci* 65: 1009-1015.
23. Pelembe LAM, Erasmus C, Taylor JRN. 2002. Development of a protein-rich composite sorghum-cowpea instant porridge by extrusion cooking process. *Lebensm Wiss Technol* 35: 120-127.
24. Gujska E, Khan K. 1990. Effect of temperature on properties of extrudates from high starch fractions of navy, pinto and garbanzo beans. *J Food Sci* 55: 466-469.

(2003년 6월 10일 접수; 2003년 11월 12일 채택)