

## 혼합물 실험 계획법에 의한 두유박과 옥분 압출성형물의 최적 혼합비 분석

한규홍·김병용\*

경희대학교 생명과학부 식품공학과

## Analysis of Optimal Mixture Ratio for Extrudate of the Soymilk Residue and Corn Grits by Mixture Design

Gyu-Hong Han and Byung-Yong Kim\*

Department of Food Science and Technology, KyungHee University

Experimental designs were applied to optimize the mixture ratio for the extrudate made by soymilk residue and corn grits. Nine candidate points were examined for their significance on extrudate using the modified distance design. Bending force, expansion ratio, bulk density, water solubility index (WSI), water absorption index (WAI) and color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) were the significant factors improving the extruded cereal production, and these values were applied to the mathematical models. Results showed that bending force, expansion ratio WSI, WAI and color ( $L^*$ ,  $b^*$ ) increased with increasing the corn grits, whereas bulk density tended to decrease. The statistical study showed that the fitted models were adequate to describe the contour plot and all responses. Optimum mixture ratio allowing to maximize the two responses (expansion ratio and  $b^*$ ) and minimize the response (WAI) were examined with a numerical optimization methods. The numerical optimization method was obtained as 53.18% : 46.19% (corn grits : soymilk residue).

**Key words:** soymilk residue, extruded cereal, mixture ratio, optimization

### 서 론

두유박은 두유와 두부 제조 공정에서 분리되는 부산물이거나, 두유박 내에는 많은 단백질, 식이섬유, 탄수화물 등의 유용 영양 성분들이 함유되어<sup>(1)</sup> 있기 때문에 이를 식품으로 재 활용해야 할 필요성이 있는 실정이다.

국내의 두유박에 대한 연구로는 밀가루와의 제면활성에 관한 연구<sup>(2)</sup>, 압출면<sup>(3)</sup>, 된장<sup>(4)</sup>, 식이섬유원<sup>(5)</sup>에 대한 연구가 있다. 대부분의 연구가 주로 두유박을 기타 성분들과 혼합하여 가공하는 방식으로 두유박이 첨가됨에 따라 가공 적성과 품질 특성들이 기존의 식품에 못 미치는 결과를 보여주었다. 국외에서의 연구는 두유박이 가지는 단백질과 식이섬유를 추출하여 가공식품에 첨가하거나 미생물을 이용하여 발효시킨 식품으로서 진행되고 있다<sup>(6,7)</sup>. 국내·외 모두 두유박을 이용하여 새로운 식품을 개발하는데 직접 혼합하거나 성분을 추출하여 혼합하는 방법을 사용하고 있다.

하지만 한 개 이상의 성분으로 되어 있는 혼합물의 경우, 각 성분의 혼합량이 문제가 되는 것이 아니라 혼합비율만이 문제가 되는 경우가 있다. 이처럼 몇 개 성분의 혼합물에 관한 실험에서 어떠한 성분이 목적하는 종속변수에 유의한 영향을 미치며, 종속변수의 반응량을 최대 또는 최소로 만드는 최적혼합비율을 찾고자 하는 실험이 혼합물 실험이다<sup>(8,9)</sup>. 이러한 혼합물 실험 계획과 분석은 식품의 개발 및 최적화를 위한 방법으로 중요하게 작용하는데<sup>(10)</sup>, 적절한 실험계획법 내에서 통계적인 모형의 도입이 이루어졌을 때 바람직하다<sup>(11)</sup>.

따라서 본 논문에서는 혼합물 실험 계획법을 이용하여 두유박 시리얼 제조를 위한 두유박과 옥분의 최적 혼합비를 찾아내고자 한다.

### 재료 및 방법

#### 재료

본 연구에 사용한 두유박(수분 3.4%, 조단백질 38.24% 조지방 16.17%, 조회분 4.19%)은 (주) 정식품에서 두유제조시 얻어지는 부산물을 수집한 즉시 -20°C에 저장하면서 사용하였고, 옥분은 (주)신안식품의 (bulk density 0.74 g/mL, 수분함량 10.28%) 것을 사용하였다.

\*Corresponding author : Byung-Yong Kim, Department of Food Science and Technol., Kyung Hee University, Yongin 449-701, Korea  
Tel: 82-31-201-2627  
Fax: 82-31-202-0540  
E-mail: bykim@khu.ac.kr

**압출성형장치 및 압출물 제조방법**

본 연구에 이용한 압출성형 장치는 동방향 쌍축압출성형기(model IHM 30 TWIN, 인천기계, 한국)로서 스크류는 완전 맛물림형이다(스크류 직경; 31.0 mm, 사출구 직경; 4.0 mm, L/T; 25, 바렐; 31×800, 모터 용량; 7.5 HP). 원료 투입 속도는 0.11 kg/min로 유지하였고, 압출성형온도는 128°C, screw speed는 250 rpm, 혼합물의 수분함량은 22.43%로 설정하여, 압출온도는 온도 autosensor와 냉각수(또는 전기히터)를 이용하여 128°C로 조정하였다. 제조된 압출성형물은 수분함량이 10%이하가 되도록 건조하였다.

**평화율 및 용적밀도**

평화율은 6 cm의 원통형 압출성형물 10개의 직경을 측정 한 후 압출성형기 die의 지름에 대한 비율로 측정하여 평균값을 구하였고<sup>(12)</sup>, 용적밀도는 각 압출성형물의 무게에 대한 부피를 나누어 계산하였다<sup>(13)</sup>.

**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 speed를 이용하여 절단파손강도를 측정하였다.

**수분용해지수(Water Solubility Index, WSI) 및 수분흡수 지수(Water Absorption Index, WAI)**

수분용해지수(WSI)는 Anderson의 방법<sup>(14)</sup>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.

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

**Table 1. Level and composition of the soymilk residue and corn grits by mixture design**

Std	Run	Level		Soymilk residue (%)	Corn grits (%)
		X <sub>1</sub> <sup>1)</sup>	X <sub>2</sub> <sup>2)</sup>		
6	1	0.500	0.500	55.00	45.00
8	2	0.500	0.500	55.00	45.00
2	3	1.000	0.000	80.00	20.00
4	4	0.750	0.250	67.50	32.50
1	5	1.000	0.000	80.00	20.00
5	6	0.250	0.750	42.50	57.50
9	7	1.000	0.000	80.00	20.00
3	8	0.000	1.000	30.00	70.00
7	9	0.000	1.000	30.00	70.00

<sup>1)</sup>X<sub>1</sub>: Soymilk residue.

<sup>2)</sup>X<sub>2</sub>: Corn grits.

**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), b\*(yellowness) 값을 10회 측정 한 뒤 평균값을 나타내었다.

**혼합물 실험 디자인**

두유박 시리얼을 위한 혼합물 실험 계획은 modified distance design<sup>(15)</sup>에 따라 설계하였고(Table 1), 모든 실험의 design, data 분석을 위하여 Design Expert 6(Stat-Easy Co., Minneapolis)를 사용하였다. Constraint의 값으로는 압출성형을 거친 시리얼의 bending force, expansion ratio, bulk density, WSI, WAI, color(L\*, a\*, b\*)를 정하였다. 총 100%의 혼합반죽 내에서 두유박과 옥분의 최소, 최대 비율은 30~80%, 20~70%로 정하였다. 설정된 혼합물 디자인 속에서 상호간의 상호작용을 알아보기 위해서 quadratic design model을 적용하였다. 이때 나타나는 model과 coefficient 값들은 F-test로 그 유의성을 검증하였다.

**Table 2. Quality characteristics of extruded soymilk residue cereals by mixture design**

Std	Run	Expansion ratio	Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )	Bending force (kPa)	WSI <sup>1)</sup> (%)	WAI <sup>2)</sup> (g/g)	L*	a*	b*
6	1	1.061	0.352	1542.70	34.29	5.245	65.37	3.05	35.55
8	2	1.062	0.329	1461.01	32.68	5.347	66.08	3.26	35.75
2	3	0.745	0.738	1166.78	23.63	4.774	63.37	3.93	33.74
4	4	0.759	0.564	1315.21	28.07	5.076	62.08	5.26	34.19
1	5	0.745	0.668	1147.63	24.23	4.856	63.50	4.74	33.64
5	6	1.034	0.342	1713.25	21.07	6.001	66.92	4.02	37.07
9	7	0.745	0.719	1092.83	23.54	4.871	62.66	5.04	33.68
3	8	2.056	0.131	257.37	38.50	6.890	68.48	3.78	36.55
7	9	2.086	0.119	286.15	38.87	7.102	69.38	3.66	37.54

<sup>1)</sup>WSI: Water solubility index.

<sup>2)</sup>WAI: Water absorption index.

**최적화**

최적화는 canonical 모형의 수치 최적화(numerical optimization)를 통하여 성분비를 선정하고, 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.

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

여기서 D는 overall desirability<sup>(16)</sup>, d는 각각의 desirability, n은 response의 수이다.

**결과 및 고찰**

**혼합물 실험 계획법에 의한 실험디자인**

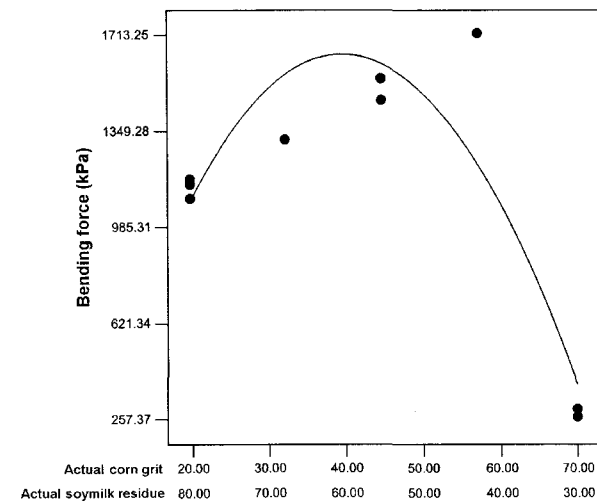
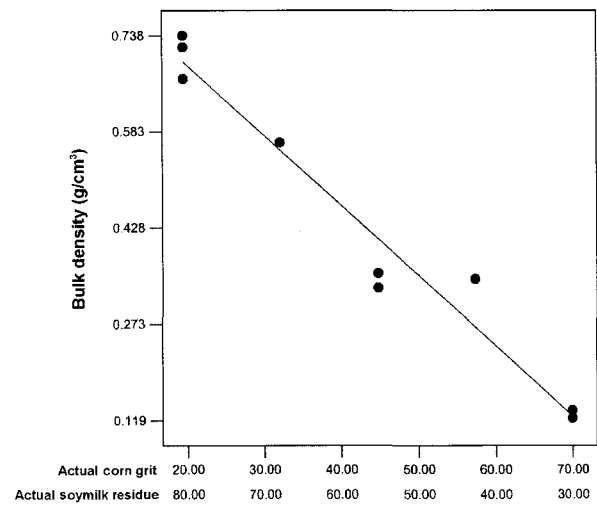
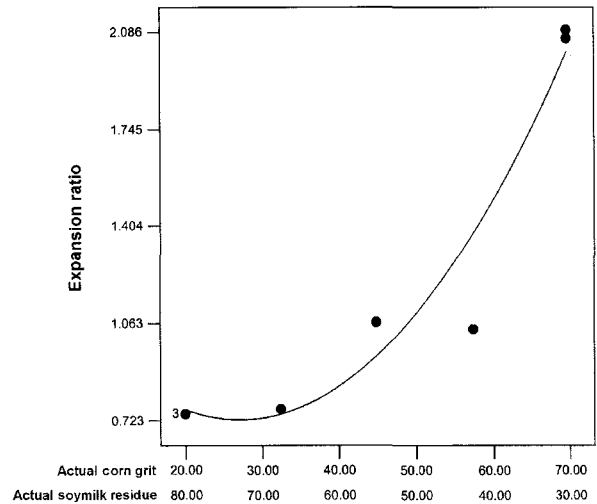
두유박 시리얼을 제조하는데 앞서 혼합물 실험 계획법을 사용하여 실험디자인을 하였다(Table 1). 두유박과 옥분의 최소, 최대 제약조건을 각각 30~80%, 20~70%로 설정하고, modified distance design을 이용하여 혼합물의 배합비를 설계했을 때, 2개의 반복점(Run No. 2, 9)을 포함하여 총 9개의 실험점이 설정되었다. 모든 실험순서(Run)는 실제 실험디자인에 의해 배열되는 순서(Std)에 대한 구획의 오차를 없애기 위해 무작위로 실행하였고, 컴퓨터 프로그래밍을 위하여 0~1의 code level를 부여하였다(Table 1).

**두유박 시리얼의 조직 특성**

두유박과 옥분의 혼합 비율에 따른 시리얼의 조직 특성을 살펴보고자 팽화율, 용적밀도, 절단강도를 측정하였다(Table 2). 그 결과 팽화율의 경우 0.745~2.086이었고, 조직의 용적밀도는 0.119~0.738 g/cm<sup>3</sup>, 절단되는 강도는 257.37~1542.70 kPa의 범위를 나타내었다.

혼합물내의 두유박 함량이 증가할수록 시리얼의 팽화율은 작아지고, 용적밀도는 커진 반면, 옥분의 함량이 증가할수록 팽화율은 커지고, 용적밀도가 낮아지는 경향을 보여주었다(Fig. 1). 이는 혼합물내에서 단백질의 함량이 많아질수록 팽화율이 작아졌던 Paton과 Spratt<sup>(17)</sup>의 연구와 단백질과 지질의 양이 증가가 시리얼의 팽화를 작게 하고, 전분의 양이 증가할수록 팽화가 커진 Chinnaswamy와 Hanna<sup>(18)</sup>의 연구와 일치하였다. 일반적으로 압출성형의 팽화현상은 반죽의 점성과 탄성 특성에 의존할 뿐만 아니라<sup>(19)</sup> 열과 기계적 에너지에 의한 호화와 압출압력에 의해서 결정되기 때문에 혼합물내에 전분질을 많이 함유하고 있는 옥분의 양이 증가할수록 팽화가 크게 일어나고, 상대적으로 단백질의 함량이 높은 두유박의 양이 증가할수록 팽화가 작게 일어난 것으로 사료된다.

용적밀도와 절단강도의 경우 팽화와 밀접한 관계를 지니는데<sup>(19)</sup>, 본 연구 결과에서도 팽화율이 증가할수록 용적밀도는 감소하는 경향을 보여주었다(Fig. 1). 하지만 절단강도에서는 팽화율이 클수록 절단강도는 낮아진다는 보고<sup>(20)</sup>와 상이하게 팽화율이 클수록 강도가 높아지다가, 팽화가 가장 많이 일어난 혼합비 30:70%(두유박 : 옥분)에서 257.37 kPa로 가장 낮은 강도를 보여주었다. 팽화율이 클수록 절단강도가



**Fig. 1. Predicted model plot of expansion ratio, bulk density and bending force: The effect of soymilk residue/corn grits and their mutual interaction on extruded cereals.**

낮아지는 것은 일정 크기 이상의 팽화조직에서 일어나는 현상이기에<sup>(21)</sup> 팽화율의 범위가 0.745~1.062로 팽화가 거의 되지 않거나 오히려 감소하였던 본 연구에서는 두유박내의 단

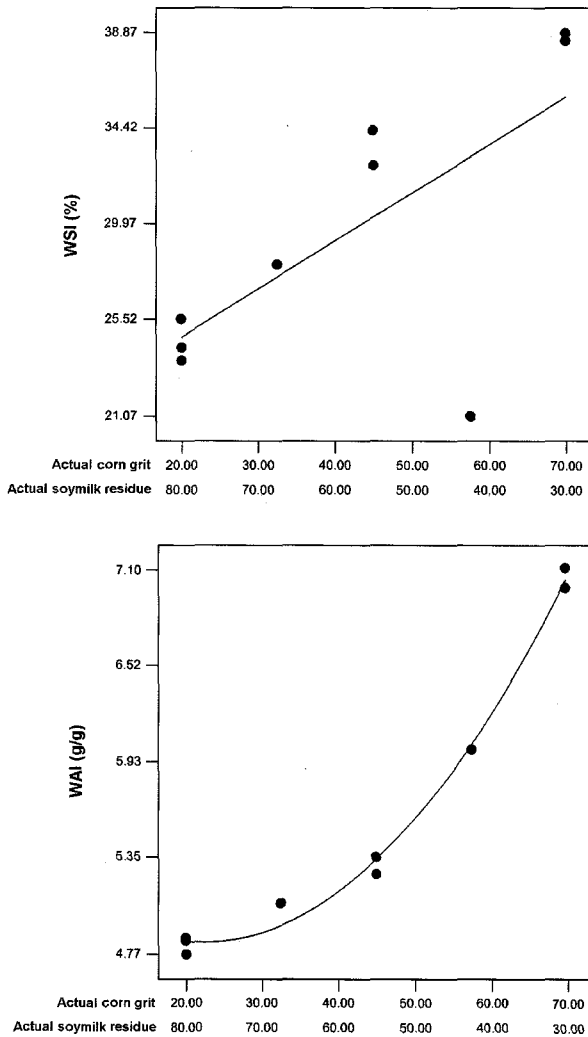


Fig. 2. Predicted model plot of WSI and WAI: The effect of soymilk residue/corn grits and their mutual interaction on extruded cereals.

백질과 옥분의 전분이 결합하여 조직을 단단하게 하고, 팽화율이 2를 넘었을 때 비로소 팽화가 절단강도를 약하게 한 것으로 생각된다.

수분용해지수 및 수분흡수지수

혼합비에 따른 두유박 시리얼의 수분용해지수는 21.07~38.87% 이었으며(Table 2), 옥분의 함유량이 증가할수록 높아지는 경향을 보여주었다(Fig. 2). 압출성형물 내에서 수분용해지수가 높아지는 일반적인 이유는 에너지 투입량이 증가함에 따라 전분분자의 수소결합이 끊어져서 용해되기 때문인데<sup>(22)</sup>, 에너지 투입량을 일정하게 한(온도: 128°C, 스크류 속도: 250 rpm) 본 연구에서는 옥분이 증가하면서 많아지는 전분의 양이 수분용해지수를 높은 것으로 판단된다. 또한 전분의 함량 이외에 수용성 단백질의 함량이 많으면 수분용해지수를 높일 수 있다고 하여<sup>(23)</sup>, 두유박내의 수용성 단백질이 수분용해지수에 영향을 주었을 것이지만 두유박의 함량이 증가할수록 수분용해지수가 감소(Fig. 2)하였기 때문에 수용성 단백질 보다는 전분의 영향이 더 크게 작용한 것으로 본다.

수분흡수지수의 경우 4.774~7.102 g/g 범위에서 수분용해지수와 유사하게 옥분의 함유량이 많아질수록 증가하였고, 두유박의 함유량이 많아질수록 감소하였다(Fig. 2). 이것은 전분에 있는 amylose에 의하여 수분흡착지수를 증가시킨다는 Pelembe 등<sup>(23)</sup>의 보고와 유청단백질을 첨가할수록 수분흡착지수가 감소했다는 Singh 등<sup>(24)</sup>의 보고와도 일치하였다.

두유박 시리얼의 색도(L\*, a\*, b\*)

두유박 시리얼의 색도를 측정한 결과는 Table 2에 나타내었다. 두유박의 함량이 증가할수록 L\*값과 b\*값은 각각 69.38~62.08, 37.54~33.64로 낮아져 두유박이 시리얼 어둡게 하는 것으로 나타났다(Fig. 2). a\*값의 경우 반대로 증가하는 추세를 보여주었지만 개체간의 뚜렷한 차이가 나타나지 않았다. 이러한 색의 변화는 혼합물이 가지고 있는 탄수화물 성분이 압출성형을 하는 동안 비효소적 갈변반응을 일으켜 나타나는 현상으로<sup>(25)</sup> 두유박과 옥분의 혼합비율에 따른 상이하게 나타나는 반응결과로 인한 것이다.

혼합물 모델 및 분석

혼합물 내에서 각 성분이 미치는 영향을 살펴보기 위해서는 반응에 대한 통계적 모델링과 분석 및 평가가 필요하다<sup>(26)</sup>. 따라서 본 연구에서는 각 반응에 대한 모델을 설정하였고, F-test를 통하여 유의성 검사를 하였다(Table 3). 조직 특성 반

Table 3. Predicted model for characteristic properties data a formulation phase

Response	Predicted equation	Model	F-value	Prob. >F	R <sup>2</sup>
Expansion ratio	Y=0.76A <sup>1)</sup> +2.01B <sup>2)</sup> -1.76AB	Quadratic	13.75	0.0100	0.9379
Bulk density	Y=0.70A+0.12B	Linear	165.13	<0.0001	0.9593
Bending force	Y=1084.22A+381.78B+3468.22AB	Quadratic	20.98	0.0038	0.8246
WSI	Y=24.69A+35.87B	Linear	6.39	0.0393	0.4773
WAI	Y=4.85A+7.03B-2.42AB	Quadratic	92.22	<0.0001	0.9937
L*	Y=62.67A+68.63B	Linear	52.37	0.0002	0.8821
a*	Y=4.55A+3.50B	Linear	3.09	0.1221	0.3064
b*	Y=33.69A+37.32B	Linear	94.91	<0.0001	0.9313

<sup>1)</sup>A: Soymilk residue.

<sup>2)</sup>B: Corn grits.

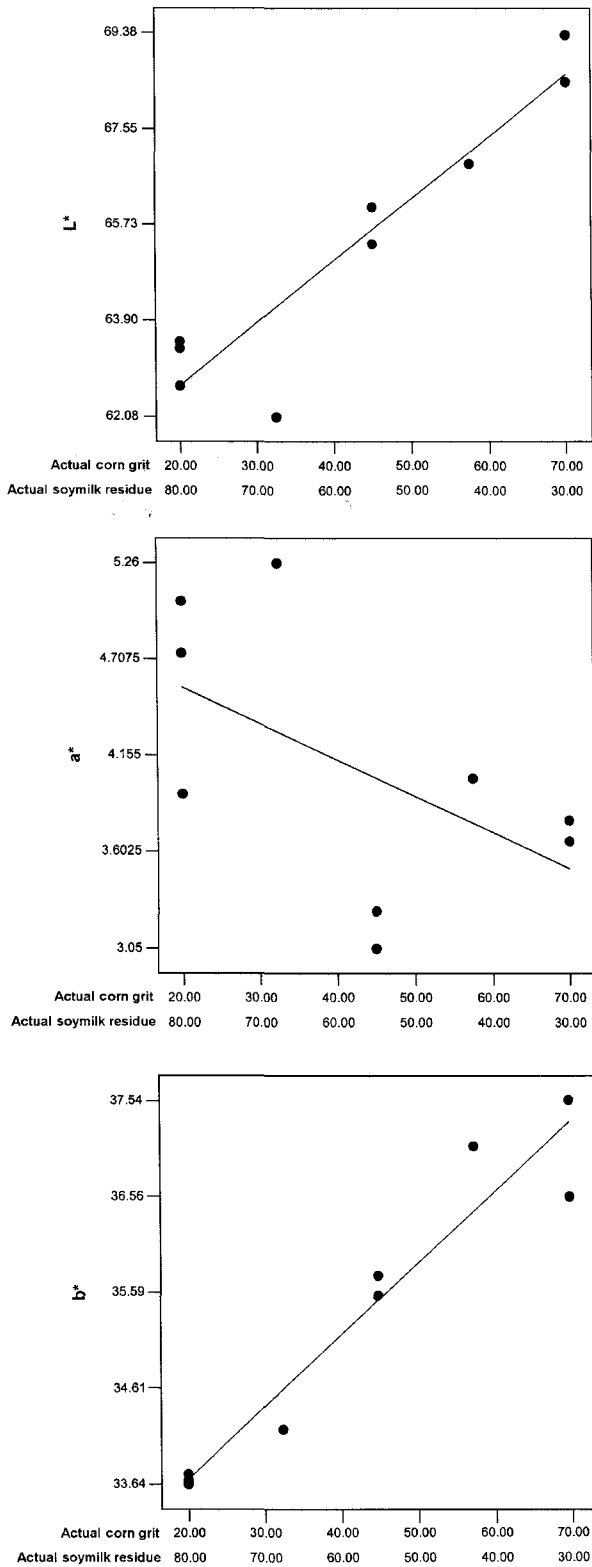


Fig. 3. Predicted model plot of color(L\*, a\*, b\*): The effect of soymilk residue/corn grits on extruded cereals.

응으로 설정한 팽화율, 절단강도의 경우 quadratic 모델이 선택되었고, 각각 probability가 0.0100과 0.0038로서 5%이내의 낮은 유의차를 가져 모델에 대한 적합성을 보여주었다. 특히 예측된 식에서 결정된 계수들은 성분들이 반응에 미치는 영

Table 4. Optimum constraints values using numerical analytical methods in the object goal

Constrains name	Goal	Numerical optimization
Soymilk residue	Maximize	46.19
Corn grits	Is in range	53.81
Expansion ratio	Maximize	1.218
WAI	Minimize	5.79
b*	Maximize	36.14

향을 수치로 보여주고 있는 것으로<sup>(26)</sup> 팽화율의 경우 옥분이 2.01로서 가장 많은 영향을 미치고 절단강도에서는 3468.22의 수치를 가지는 두유박과 옥분의 혼합작용이 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다(Table 3). 용적밀도의 경우에는 혼합물의 상호작용이 보이지 않는 linear 모델이 선택되었다(p<0.05). 즉, 두유박과 옥분이 상호작용 없이 용적밀도에 영향을 주는 것으로 혼합물 내에서 linear 모델화가 성분들의 독립적 작용을 보여준 Kim<sup>(27)</sup>의 연구와 유사하였다.

수분용해지수와 수분흡착지수는 linear 모델과 quadratic 모델이 선택되었고, 0.0393과 <0.0001의 probability를 보여 5% 이내의 유의성에 만족하였다. 반응 계수로 살펴본 성분들의 작용에서는 수분용해지수와 수분흡착지수 모두 35.87와 7.03의 수치를 보여주었던 옥분이 많은 영향을 주는 것으로 판단된다. 색도는 L\*값, a\*값, b\*값 모두 linear 모델이 선택되었으나 a\*값의 경우 0.1221의 probability 값을 가져 모델로의 유의성을 보여주지 못하였다.

혼합물 최적화

혼합물의 최적화는 Derringer와 Suich<sup>(16)</sup>의 최적화를 근원으로 하여 발전시킨 방법을 사용하였다. 우선 선택된 모델의 식을 이용하여 목적 성분을 두유박과 옥분으로 정하고 원하는 반응을 시리얼의 팽화율, 수분흡착지수, 색도(b\*값)으로 결정하였다. 그 다음 목적(goal) 범위로 두유박의 함유량을 최대로 하고, 옥분은 실험의 범위 안에, 팽화율과 색도(b\*값)는 최대(maximize), 수분흡착지수는 최소(minimize)로 하여 만족하는 수치 점(numerical point)을 예측하였다(Table 4). 각 선택된 모델의 식의 canonical 수치는 최적화를 위한 값으로 입력되어 목적으로 하는 성분과 반응의 범위를 제시하였을 때 최적화 값이 예측되는데, 이 때 나타난 값으로는 두유박 46.19%, 옥분 53.81%이었고, 결정된 혼합비의 예측 반응치는 팽화율 1.128, 수분 흡착지수 5.79, 색도(b\*값) 36.14로 계산되었다.

요 약

두유박 시리얼을 제조하는데 최적 배합비를 산출하기 위하여 혼합물 실험 계획법을 사용하였다. 두유박 30~80%과 옥분 20~70%의 제약조건으로 실험디자인을 하여 압출성형을 한 결과, 두유박 함량이 증가할수록 시리얼의 팽화율은 작아지고 용적 밀도는 높아진 반면에 옥분의 함량이 증가할수록 팽화율과 절단강도, 수분용해지수, 수분흡착지수를 증가시켰다. 시리얼의 색도에서는 두유박을 첨가할수록 어두워

지고, 옥분은 L\*값과 b\*값에 큰 영향을 주었다. 모델화 및 분석을 통한 반응 결과는 팽화율, 절단강도, 수분흡착지수는 quadratic 모델이 설정되고, 용적밀도, 수분용해지수, 색도는 linear 모델이 설정되었다. 색도의 a\*을 제외한 모든 반응결과에서 5% 이내의 유의차를 보여주어 모델에 대한 적합성을 입증하였고, 예측된 반응식을 통하여 혼합물내의 성분들이 시리얼에 미치는 미치는 영향을 살펴볼 수 있었다. 결과적으로 각 반응의 모델에서 나타난 계수를 이용한 수치 최적화를 하였을 때, 두유박 46.19%, 옥분 53.81%의 최적 배합비가 산출되었다.

## 문 헌

1. Wang, H.L. and Cavins, J.F. Yield and amino acid composition of fractions obtained during tofu production. *Cereal Chem.* 66: 359-361 (1989)
2. Choi, J.B. and Kim, Z.U. Use of soymilk residue to noodle. *J. Korean Soc. Agric. Chem. Biotechnol.* 31: 65-78 (1990)
3. Kim, Z.U. and Park, W.P. Making of extruded noodles mixed with soymilk residue. *J. Korean Soc. Agric. Chem. Biotechnol.* 33: 216-222 (1990)
4. Kim, Z.U., Bang, C.S., Choi, J.B. and Lim, C.S. Utilization of soymilk residue for wheat *doenjang*. *J. Korean Soc. Agric. Chem. Biotechnol.* 32: 357-361 (1989)
5. Hong, J.S., Kim, M.K., Yoon, S. and Ryu, N.S. Preparation of dietary fiber sources using apple pomace and soymilk residue. *J. Korean Soc. Agric. Chem. Biotechnol.* 36: 73-79 (1993)
6. Ma, C.Y., Liu, W.S., Kwok, K.C. and Kwok, F. Isolation and characterization of proteins from soymilk residue (okara). *Food Res. Int.* 29: 799-805 (1997)
7. Matsuo, M. Preparation and components of okara-ontjom, a traditional Indonesian fermented food. *Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi* 44: 632-639 (1997)
8. Cornell, J.A. Experiments with Mixtures: Designs, Models, and the Analysis of Mixture data, pp. 1-8. John Wiley & Sons, New York, USA (1990)
9. Ellekær, M.R., Næs, T. and Baardseth, P. Milk proteins affect yield and sensory quality of cooked sausages. *J. Food Sci.* 61: 660-666 (1996)
10. Næs, T., Bjerke, F. and Færgestad, E.M. A comparison of design and analysis techniques for mixtures. *Food Qual. Prefer.* 10: 209-217 (1999)
11. Saguy, I., Mishkin, M.A. and Karel, M. Optimization methods and available software. Part 1. *CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 20: 275-299 (1984)
12. Alavi, S.H., Gogoi, B.K., Khan, M., Bowman, B.J. and Rizvi, S.S.H. Structural properties of protein-stabilized starch-based supercritical fluid extrudates. *Food Res. Int.* 32: 107-118 (1999)
13. Park, K.H. Elucidation of the extrusion puffing process. Ph.D. dissertation, University of Illinois, Urbana, USA (1976)
14. Anderson, R.A. Water absorption and solubility and amylograph characteristics of roll-cooked grain products. *Cereal Chem.* 59: 265-269 (1982)
15. Snee, R.D. Experimental designs for mixture systems with multi-component constraints. *Comm. Stat. Theory Meth.* 8: 337-338 (1979)
16. Derringer, G. and Suich, R. Simultaneous optimization of several response variables. *J. Quality Technol.* 12: 214-219 (1980)
17. Paton, D. and Spratt, W.A. Component interactions in the extrusion cooking process: Influence of process conditions on the functional viscosity of the wheat flour system. *J. Food Sci.* 49: 1380-1385 (1984)
18. Chinnaswamy, R. and Hanna, M.A. Expansion, color and shear strength properties of corn starches extrusion cooked with urea and salts. *Starch/Stärke* 40: 186-190 (1988)
19. Launay, B. and Lisch, L.M. Twin-screw extrusion cooking of starches: Flow behavior of starch pastes, expansion and mechanical properties of extrudates. *J. Food Eng.* 2: 259-280 (1983)
20. Chavez-Jauregui, R.N., Silva, M.E.M.P. and Areas, J.A.G. Extrusion cooking process for amaranth (*Amaranthus caudatus* L.). *J. Food Sci.* 65: 1009-1015 (2000)
21. Kokini, J.L., Chang, C.N. and Kai, L.S. The role of rheological properties on extrudate expansion, pp. 630-652. In: *Food Extrusion Science and Technology*. Kokini, J.L., Ho, C.T. and Karwe, M.V. (eds.). Rutgers, The State University of New Jersey, New Brunswick, NJ, USA (1992)
22. Ryu, G.H. and Mulvaney, S.J. Analysis of physical properties and mechanical energy input of cornmeal extrudates fortified with dairy products by carbon dioxide injection. *Korean J. Food Sci. Technol.* 29: 947-954 (1997)
23. Pelembe, L.A.M., Erasmus, C. and Taulor, J.R.N. Development of a protein-rich composite sorghum-cowpea instant porridge by extrusion cooking process. *Lebensm. Wiss. Technol.* 35: 120-127 (2002)
24. Singh, R.K., Nielsen, S.S. and Chambers, J.V. Selected characteristics of extruded blends of milk protein raffinate or nonfat dry milk with corn flour. *J. Food Proc. Preser.* 15: 285-302 (1991)
25. Ilo, S., Liu, Y. and Berghofer, E. Extrusion cooking of rice flour and amaranth blends. *Lebensm. Wiss. Technol.* 32: 79-88 (1999)
26. Han, G.H., Kim, B.Y. and Lee, J.K. Production of extrudates formulated from pacific sand lance by-product and dried biji. *Korean J. Food Sci. Technol.* 34: 186-193 (2002)
27. Kim, S.M. Surimi-alginate gels as affected by setting: a study based on mixture design and regression models. *Food Res. Int.* 36: 295-302 (2003)

(2003년 3월 6일 접수; 2003년 6월 24일 채택)