

반응표면분석을 이용한 쌀-대두단백-쥐치어 혼합물의 압출성형 최적화

이 찬

한서대학교 식품생물공학과

Optimization for Extrusion-Cooking of Rice-ISP-File Fish Mixture by Response Surface Methodology

Chan Lee

Dept. of Food and Biotechnology, Hanseo University, Chungnam 356-706, Korea

Abstract

Effects of raw material composition, feed moisture and process temperature on chemical, physical and sensory properties of extrudates produced by a single-screw extruder from the mixtures of rice flour, isolated soy protein and file fish were evaluated through response surface methodology (RSM). Nitrogen solubility index (NSI), integrity index (II), rehydration ratio (RR), density, and the external appearance were measured as indices of physicochemical and sensory properties of extrudates. RR was negatively correlated with density ($R = -0.742, p < 0.01$). Increased amounts of rice flour in feed mixtures resulted in increased RR. The extrudate prepared from the mixtures of ISP, rice flour and file fish showed the highest sensory score at which extrusion temperature was 130°C or above.

Key words: rice, file fish, extrusion, response surface methodology

서 론

국내외에서 농축 어류 단백질(fish protein concentrate)과 같은 새로운 단백질 자원을 개발하기 위한 연구가 많이 보고(1-5)되고 있는데 쥐치어의 경우는 주로 건조된 형태의 제품으로 이용하기 위한 연구(6,7)였으며 농축 쥐치어 단백질(file fish protein concentrate)로 개발하여 가공식품에 첨가하려는 시도(8-11)가 일부 있었지만 부가가치를 높이기 위하여 보다 다양한 제품으로 개발하기 위한 연구가 필요하다.

식품의 압출성형기술은 적당한 수분함량을 갖는 천연 고분자 물질이 압출성형기 내부의 높은 온도와 압력하에서 스크류의 회전과 가열에 의하여 열반응과 성형이 동시에 발생하도록 함으로써 스펀지, 아침편의식(12), 애완동물용 사료, 식물조직화단백질 제조(13,14) 등에 이용되고 있다. 단백질의 조직화는 단백질 구조에서 비공유결합이 파괴된 후 새로운 결합들이 평행한 방향으로 형성되는 현상인데 어육의 actomyosin과 같은 고분자 섬유상 단백질이 용융되기 어려운 것으로 알려져 있다(15). 하지만 냉각도출구가 연결된 쌍축 스크류 압출성형기를 이용하면 수분함량이 약 50~70%인 원료로부터 섬유상조직을 갖는 압출성형물의 제조가 가능하다는 보고가 있다(16). 일반적으로 어육만으로 조직화하는 경우에는 물성이 약하므로 식물성단백질을 첨가해야 하

는데(17,18) 전분 대신 쌀가루를 첨가시 압출성형물의 특성에 어떤 변화가 일어나는지에 대한 연구는 없는 실정이다.

반응표면분석을 이용하여 실험결과를 처리한 경우에는 식품의 물리적 특성에 미치는 재료의 영향(19,20), 밀배아로부터 천연 비타민 E의 농축에 대한 예측(21), hot wire 방법으로 커드형성의 비파괴적 예측(22) 등이 있다.

본 연구에서는 단축스크류 압출성형기를 이용하여 쥐치어어육, 분리대두단백, 쌀가루 혼합물의 조성과 수분함량 그리고 토출구온도가 물리화학적 및 관능적 특성에 미치는 복합적인 영향을 반응표면분석(response surface methodology)을 이용하여 최적화하고자 한다.

재료 및 방법

실험재료

시험에 사용한 재료는 미국 퓨리나(St. Louis, MO, USA)의 분리대두단백 제품 500E, 광일(Seoul, Korea)의 쌀가루($< 75 \mu\text{M}$) 그리고 진주지역 공판장에서 구입한 말쥐치(*Navodon modestus*)의 어육을 사용하였다. AOAC 방법(23)으로 분석한 실험재료들의 일반성분 조성은 Table 1에 있다.

Extrusion process

쥐치어의 수분함량을 78%에서 40%로 낮추기 위해 50°C

Table 1. Proximate compositions of raw materials

Raw material	Moisture (%)	Protein (%)	Crude lipid	Carbo-hydrate	Ash
Rice flour	11.5	7.5	0.6	79.8	0.6
ISP ¹⁾	5.5	90.0	0.5	0.2	3.8
File fish	78.3	19.7	0.5	-	1.5

¹⁾Isolated soy protein.

에서 75분간 열풍건조하였다. 쌀가루, 분리대두단백 및 취치어를 여러 가지 비율로 호바트 믹서기(model No. H600, USA)에서 혼합한 후 밀봉한 상태로 12시간 이상, 5°C에서 수분평형시킨 다음 압출성형하였다. 압출성형물의 제조는 6 mm 직경과 7 : 5 길이/직경(L/D ratio)를 가진 바렐이 부착된 단축스크류 압출성형기를 사용하였으며 온도조절, torque, 온도 및 압력 계측기(SS-100P-6P, Konics Co., Korea)를 가지고 있었다. 다이 크기는 20×3 mm(slot type)인 스크류를 사용하였다.

반응표면분석을 위한 실험계획법

쌀가루함량(X_1), 토출구온도(X_2) 및 수분함량(X_3)의 세 가지 독립변수(X_i)에 대한 코드수준은 Table 2와 같이 5단계로 부호화하여 Cochran and Cox(24)에 따라 2³요인 실험점(2^k)은 8개, 축점(2K)은 6개, 중심점(n_0)은 2개로 구성된 중심합성계획법(central composite design)에 의해 16개 균의 압출성형조건을 각각 설계하였다. 각 조건에서 얻어진 압출성형물의 품질특성과 관련된 종속변수(Y_n)로는 수용성질소지수, 조직잔사지수, 재흡수율, 밀도, 그리고 관능평가에 의한 조직화정도의 5가지를 사용하였으며 3회 반복하였다. 결과를 회귀분석하였으며 최적조건의 예측은 SAS(25) program을 이용하였다.

압출성형공정 최적화에 관련된 표본회귀모형식은 다음과 같다.

$$Y = b_0 + \sum b_i X_i + \sum b_{ii} X_i^2 + \sum b_{ij} X_i X_j$$

여기서 Y는 종속변수, X_i , X_j 는 독립변수, b_0 는 절편, b_i , b_{ii} , b_{ij} 는 회귀계수이다.

수용성질소지수(nitrogen solubility index: NSI)

수용성질소지수는 다음과 같이 측정하였다. 시료 5 g을 물 200 mL에 넣고 30°C 중탕조에서 120 rpm으로 교반 후 250 mL로 정용하였으며 저온 원심분리기(Sorvall RC-5B, Dupont Co., USA)에서 5,000 rpm으로 10분간 원심분리한다

Table 2. Variables and their levels for central composite design

Independent variables	Symbols	Coded-variable levels				
		-2	-1	0	1	2
Rice flour content (%)	X_1	0	10	20	30	40
Die temperature (°C)	X_2	70	90	110	130	150
Feed moisture (%)	X_3	15	20	25	30	35

음 상등액 20 mL을 취하여 켈달법으로 질소정량하여 다음 식에 따라 산출하였다(26).

$$\text{수용성질소지수}(\%) = \frac{\text{수용성질소합량}}{\text{시료의 총질소합량}} \times 100$$

조직잔사지수(integrity index: II)

건조된 시료 2~3 g을 80°C의 물 100 mL에서 30분간 침지, 복원시킨 후 121°C에서 15분간 가압가열하여 흐르는 물에 냉각시켰다. 여기에 30 mL의 증류수를 부어 5,000 rpm에서 1분간 균질화시키고 20메쉬체로 걸러내고 흐르는 물로 2번 씻어낸 후 105°C에서 2시간 건조 후 무게를 측정하고 다음 식에 따라 산출하였다(27).

$$\text{조직잔사지수}(\%) = \frac{\text{건조 후 잔사무게}}{\text{시료의 건조무게}} \times 100$$

재흡수율(rehydration ratio: RR)

30 g의 시료를 10분간 90°C의 물로 복원시킨 후 무게를 측정하여 흡수된 물의 양을 백분율로 나타내었다.

밀도(density)

10 g의 시료를 메스실린더에 넣고, 좁쌀 200 cc를 시료위에 부어 평형이 될 때까지 두드린 다음 늘어난 용적을 시료의 용적으로 하여 다음 식에 의하여 산출하였다.

$$\text{밀도}(\text{g/cm}) = \frac{\text{시료의 무게}}{\text{시료의 용적}} \times 100$$

관능검사

10명의 훈련된 관능검사요원들에 의해 압출성형물의 조직화 정도를 육안적으로 평가하여 조직화정도가 높을수록 높은 점수로 표시되도록 15 cm 무간격지표(unstructured scale)에 의하여 측정하였다(28).

결과 및 고찰

측정변수들의 유의성

반응표면분석법은 여러개의 독립변수가 복합적인 작용을 함으로써 종속변수에 영향을 주는 경우 실험회수를 최소화 하면서 반응의 변화를 폭 넓게 평가할 수 있는 통계학적 분석 방법이다. 쌀가루함량, 토출구온도, 수분함량의 3가지 독립변수에 따른 종속변수인 이화학적 및 관능적 특성에 대한 측정치는 Table 3과 같으며 Table 4에는 종속변수들간의 상관관계를 나타낸 것으로 재흡수율과 밀도와는 다른 변수들에 비하여 비교적 높은 상관관계($p < 0.01$, $R = -0.742$)를 보였다. 조직잔사지수는 관능검사결과와의 상관관계($p < 0.01$, $R = 0.489$)가 비교적 높은 것으로 나타났는데 이것은 조직잔사지수가 조직화의 정도를 평가하는 척도로서 주관적으로 평가하는 관능검사방법이 적절하였음을 의미한다. 그리고 관능검사와 재흡수율의 상관관계($p < 0.01$, $R = 0.507$)와 밀도와 상관관계($p < 0.001$, $R = -0.596$)가 각각 비교적 높게 나타났다.

Table 3. Central composite design arrangement and responses

Run	Variable levels			Responses				
	X ₁	X ₂	X ₃	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅
1	-1	-1	-1	0.12	0.02	275	0.66	1.2
2	-1	-1	1	0.23	0.43	271	0.62	2.0
3	-1	-1	-1	0.32	0.22	293	0.61	4.4
4	-1	-1	1	0.35	0.60	263	0.60	7.3
5	1	-1	-1	0.26	0.29	237	0.80	1.4
6	1	-1	1	0.48	0.39	259	0.70	3.1
7	1	1	-1	0.45	0.34	537	0.27	6.3
8	1	1	1	0.21	0.47	405	0.39	9.2
9	0	0	0	0.58	0.71	342	0.62	4.2
10	0	0	0	0.44	0.54	315	0.52	3.7
11	-2	0	0	0.32	0.27	268	0.53	4.7
12	2	0	0	0.12	0.04	283	0.58	3.6
13	0	-2	0	0.50	1.74	395	0.34	10.3
14	0	2	0	0.68	0.48	277	0.58	1.0
15	0	0	-2	0.45	0.57	248	0.71	3.9
16	0	0	2	0.22	0.74	438	0.30	4.8
Mean				0.36	0.49			

Y₁: NSI (nitrogen solubility index), Y₂: II (integrity index), Y₃: RR (rehydration ratio), Y₄: Density, Y₅: Sensory analysis.

Table 4. Correlation matrix between dependent variables of extrudate

Dependent variables	NSI	II	RR	DE	SA
NSI	.	0.440*	0.017	0.075	0.018
II	.	.	0.285	-0.290	0.489**
RR	.	.	.	-0.742**	0.507**
DE	-0.596***
SA

NSI: Nitrogen solubility Index, II: Integrity index, RR: Rehydration ratio, DE: Density, SA: Sensory analysis. *p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001.

Table 5. Significance of terms in response surface analysis for graphic three dimension

Process variable terms	Dependant variables				
	NSI (Y ₁)	II (Y ₂)	RR (Y ₃)	DE (Y ₄)	SA (Y ₅)
Linear:					
Rice flour content (X ₁)	**	**	ns	ns	ns
Die temp (X ₂)	ns	ns	ns	ns	ns
Feed moisture (X ₃)	*	ns	ns	ns	ns
Quadratic:					
Rice ² (X ₁ ²)	**	***	ns	ns	ns
Temp ² (X ₂ ²)	*	*	ns	ns	ns
MC ² (X ₃ ²)	ns	ns	ns	ns	ns
Crossproduct:					
Rice·Temp (X ₁ ·X ₂)	ns	ns	**	**	ns
Rice·MC (X ₁ ·X ₃)	ns	ns	ns	ns	ns
Temp·MC (X ₂ ·X ₃)	ns	ns	ns	ns	ns
# of significant terms: Max 9					
	4	3	1	1	0

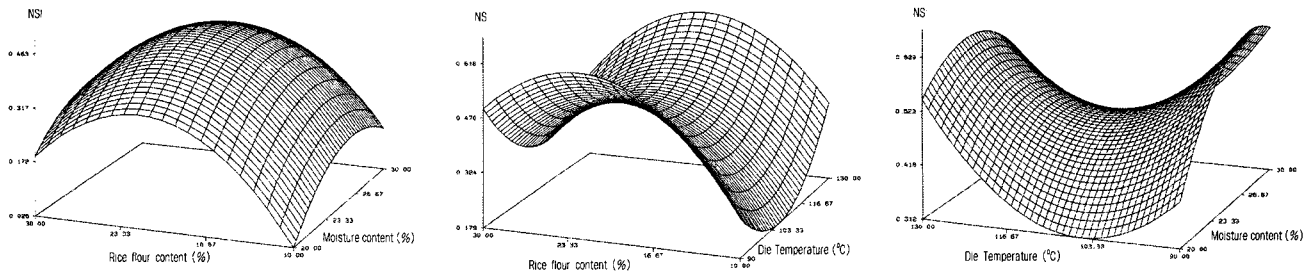
ns, not significant. *Significant at 5%, **Significant at 1%, ***Significant at 0.1%. NSI: Nitrogen solubility index, II: Integrity index, RR: Rehydration ratio, DE: Density, SA: Sensory analysis.

$$Y_1 = -4.747^* + 0.130X_1^{**} - 0.062X_2 + 0.289X_3^* - 0.002X_1^{2***} + 0.0003X_2^{2*} - 0.004X_3^2 - 0.0003X_1X_2 - 0.0004X_1X_3 - 0.0007X_2X_3$$

조직잔사지수(integrity index: II)

수분함량이 50~70%인 어육 단백질을 이용하여 섬유상 조직을 갖는 압출성형물의 제조는 쌍축스크류 압출성형기에 냉각토출구를 연결함으로써 가능하다고 하였는데(16) 본 연구에서는 원료 혼합물의 수분함량이 20~30% 범위에서 단축스크류 압출성형기를 사용하여 쥐치어 어육으로부터 조직화를 시도하였다. 조직화 정도를 평가하는 척도로 사용

종속변수들에 대한 독립변수들의 영향
 Table 5는 쌀가루함량이 10~30%, 토출구온도가 90~130°C, 수분함량이 10~30%의 범위내에서 독립변수들이 자유롭게 움직일 때 종속변수들에 대한 유의성을 가짐을 보여 주었으며 관능검사에 대해 독립변수인 토출구온도와 수분함량이 상대적으로 높은 유의성을 나타냈다.
 수용성질소지수(nitrogen solubility index: NSI)
 쌀가루함량과 수분함량의 반응표면에서는 수용성질소지수 값이 쌀가루함량과 수분함량 두가지의 독립변수가 실험 설정구간의 최저수분에서 가장 낮은 값을 갖는다(Fig. 1a). 쌀가루함량과 토출구온도에서 나타난 상관관계는 뒤틀린 안부점 형태를 갖는다. 이 경우 각각의 독립변수의 영향을 나타내는 반응표면의 방향이 다른 변수의 수준이 가장 낮은 수준에서 가장 높은 수준으로 증가할 때 변한다(Fig. 1b). 그리고 수용성질소지수는 토출구온도가 낮거나 높고 동시에 중간정도의 수분함량에서 최고치를 갖는 것은 주목할 만 하였다(Fig. 1c). 수용성질소지수에 대한 회귀식의 유의성(R)은 0.6036이었다.



(a) Rice flour content vs. moisture content (b) Rice flour content vs. die temperature (c) Die temperature vs. moisture content
Fig. 1. Response surface plots of nitrogen solubility index in texturized extrudate.

되는 조직잔사지수조직잔사지수에 대한 회귀식의 유의성 (R)은 0.5399였으며 쌀가루함량의 실험설계구간의 중심점 혹은 그 이하에서 수분함량이 증가함에 따라 조직잔사지수가 증가하는 것을 보였다(Fig. 2a). 또한 쌀가루함량과 수분함량이 동시에 낮은 수준이거나 높은 수준일 경우 매우 낮은 조직잔사지수를 나타내는 최적점을 보인다. 수용성질소지수의 경우와 마찬가지로 조직잔사지수에 있어서도 쌀가루함량과 토출구온도와의 사이에는 뒤틀린 안부점 형태의 반응표면을 나타내었다(Fig. 2b).

$$Y_2 = -4.684 + 0.298X_1^{**} - 0.182X_2 + 0.253X_3 - 0.006X_1^{2***} + 0.001X_2^2 + 0.004X_3^2 - 0.002X_1X_2 - 0.001X_1X_3 + 0.00002X_2X_3$$

재흡수율(rehydration ratio: RR)

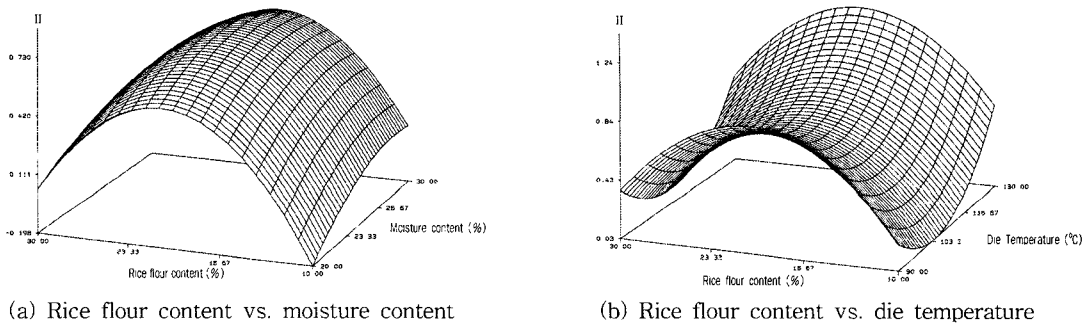
Fig. 3에서 볼 때 토출구온도와 쌀가루함량이 증가시 비례

하여 재흡수율도 증가함을 알 수 있었는데 이러한 결과는 이전에 발표된 보고(18)와 일치하는 것이다. 쌀가루의 주성분은 전분으로서 압출성형시 원료의 쌀가루함량비가 증가하면 원료의 전분함량도 높아져서 팽화율이 증가하고 이에 따라 온수에 복원시 재흡수율이 증가하기 때문으로 생각된다. 재흡수율에 대한 회귀식의 유의성(R)은 0.6810이었으며 토출구온도와 수분함량간의 관계의 반응표면에서 토출구온도는 설계구간의 반응표면에서 약간의 긍정적인 효과를 나타내었다(Fig. 3).

$$Y_3 = 340.226 - 4.080X_1 - 5.691X_2 - 22.857X_3 - 0.448X_1^2 + 0.040X_2^2 + 0.896X_3^2 + 0.273X_1X_2 - 0.191X_1X_3 - 0.226X_2X_3$$

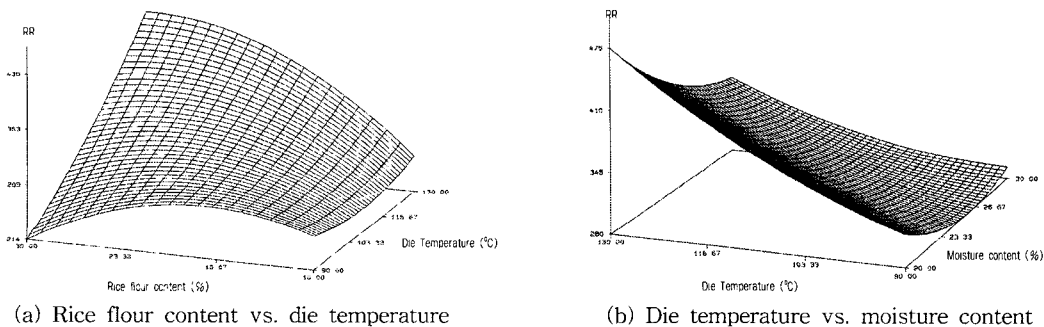
밀도(density)

수분함량이 증가하는 경우에는 밀도가 증가하였으나 쌀가루함량이 증가하면 반대로 밀도는 감소하였는데 이러한



(a) Rice flour content vs. moisture content (b) Rice flour content vs. die temperature

Fig. 2. Response surface plots of integrity index in texturized extrudate.



(a) Rice flour content vs. die temperature (b) Die temperature vs. moisture content

Fig. 3. Response surface plots of rehydration ratio in texturized extrudate.

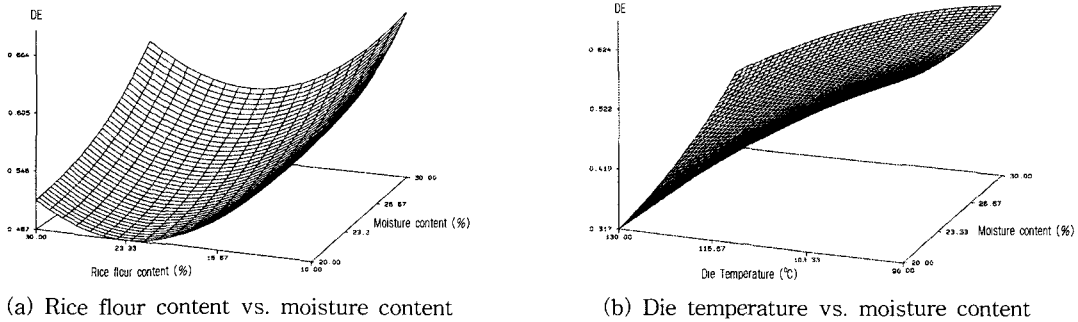


Fig. 4. Response surface plots of density in texturized extrudate.

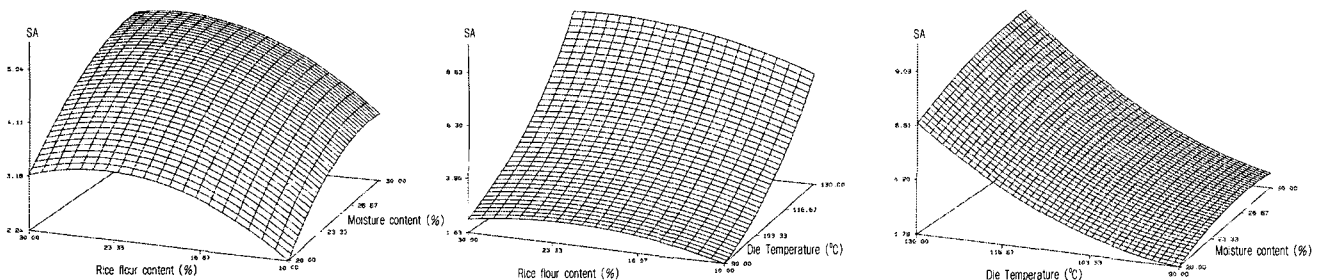


Fig. 5. Response surface plots of sensory analysis in texturized extrudate.

결과는 쌀가루함량이 증가함에 따라 전분의 팽화율이 증가하고 결과적으로 재흡수율의 경우와는 반대로 밀도가 감소하기 때문이다(Fig. 4). 하지만 본 실험에서는 밀도에 대한 회귀식의 유의성(R)이 0.5900으로 비교적 낮은 결과를 보였으므로 보다 유의성이 높은 결과를 얻기 위하여 추가적인 실험이 필요하다고 생각된다.

$$Y_4 = 1.676 + 0.018X_1 + 0.010X_2 + 0.074X_3 + 0.001X_1^2 - 0.00007X_2^2 + 0.001X_3^2 - 0.001X_1X_2 + 0.0002X_1X_3 + 0.0003X_2X_3$$

관능검사

관능검사는 훈련된 관능검사요원들이 육안으로 압출성형물의 조직화 정도를 평가하는 방법인데 Fig. 5에서 보듯이 토출구온도와 수분함량이 증가할수록 비례하여 조직화가 증가한 반면 쌀가루함량이 증가하는 경우에는 조직화가 비례하여 증가하는 경향이 나타나지 않았다. 한편 조직잔사지수와 관능검사간에는 비교적 높은 상관관계(p<0.01, R=0.489)가 있었는데 이것은 조직잔사지수사 객관적으로 조직화의 정도를 평가하는 척도이므로 주관적으로 조직화를 평가하는 관능검사방법이 본 실험에서 적절하였음을 의미하는 결과로 해석될 수 있다. 관능검사에 대한 회귀식의 유의성(R)은 0.8624로 비교적 높은 값을 나타내었다.

$$Y_5 = -0.396 + 0.056X_1 - 0.505X_2 + 0.4238X_3 - 0.006X_1^2 - 0.002X_2^2 - 0.016X_3^2 + 0.002X_1X_2 + 0.003X_1X_3 + 0.004X_2X_3$$

요 약

퀴치어의 이용을 다양화하기 위하여 분리대두단백과 쌀가루를 첨가하여 원료 혼합물의 수분함량을 20~30%로 조절한 후 단축스크류 압출성형기를 이용하여 압출성형으로 조직화 단백질을 제조하기 위한 실험을 하였으며 쌀가루함량, 토출구온도 및 원료 혼합물의 수분함량이 압출성형물의 물리화학적 및 관능적특성에 미치는 영향을 반응표면분석을 이용하여 최적화하였다. 쌀가루함량이 증가하면 팽화율이 증가하므로 재흡수율은 높아지는 반면 밀도는 낮아지는 현상을 보였다. 재흡수율과 밀도는 서로 유의성 있게 반비례하는 상관관계(p<0.01, R=-0.742)를 보였다. 육안적인 관능검사방법은 조직잔사지수와 유의성 있는 상관관계(p<0.01, R=0.489)를 보였으므로 비교적 조직화의 정도를 평가하는 방법으로 적절한 것으로 간주되었다. 그리고 관능검사와 재흡수율의 상관관계(p<0.01, R=0.507)와 밀도와의 상관관계(p<0.001, R=-0.596)가 각각 비교적 높게 나타났으며 압출공정에서 토출구의 온도가 130°C 이상에서 최적의 조직화가 형성되었다.

문 헌

1. Suzuki T, Kanna K, Okazaki E, Morita N. 1978. Manufacture of meat-textured fish protein concentrate from various fishes. *Bull of the Japanese Sci Fish* 44: 1275-1281.
2. Hevia P, Whitaker JR, Olcott HS. 1976. Solubilization of a fish protein concentrate with proteolytic enzyme. *J Agric Food Chem* 24: 383-385.

3. Chen L, Richardson T, Amundson CH. 1975. Some functional properties of succinylated proteins from fish protein concentrate. *J Milk Food Technol* 38: 89-93.
4. Miller R, Groninger HS. 1976. Functional properties of enzyme modified acylated fish protein derivatives. *J Food Sci* 42: 268-272.
5. Bhumiratana S, Hill Jr CG, Amundson CH. 1977. Enzymatic solubilization of fish protein concentrate in membrane reaction. *J Food Sci* 42: 1016-1019.
6. Lee BH. 1982. Drying characteristics of filefish fillet. *Korean J Nutr Food* 11: 37-43.
7. Lee EH, Kim HY. 1982. Processing conditions and quality stability during storage of frozen-dried filefish. *Bull Korean Fish Soc* 15: 111-116.
8. Yang HC, Son HS, Lim ST. 1983. Studies on the preparation and utilization of filefish protein concentrate I. The preparation and properties. *Korean J Food Sci Technol* 15: 141-149.
9. Yang HC, Son HS, Lim ST. 1983. Studies on the preparation and utilization of filefish protein concentrate (FPC) II. The effect of processing conditions on the functional properties. *Korean J Food Sci Technol* 15: 252-261.
10. Yang HC, Yang BH, Lim MH. 1983. Studies on the preparation and utilization of filefish protein concentrate (FPC) III. The preparation and characteristics of dried noodle using FPC-wheat composite flour. *Korean J Food Sci Technol* 15: 262-268.
11. Yang HC, Lim WJ, Paik SY. 1983. Studies on the preparation and utilization of filefish protein concentrate (FPC) IV. The preparation and characteristics of bread using FPC-wheat composite flour. *Korean J Food Sci Technol* 15: 269-276.
12. Feldberg C. 1969. Extruded starch-based snacks. *Cereal Science Today* 14: 211-214.
13. Cabrera J, Zapata LE, Buckle TSde, Ben-Gera I, Sandoval AMde, Shomer I. 1979. Production of textured vegetable protein from cottonseed flours. *J Food Sci* 44: 826-830.
14. Puski G, Konwinski AH. 1976. Process of making a soy-based meat substitute. *US Patent* 3,950,564.
15. Van Zuilichem DJ, Stolp W. 1987. Survey of the present extrusion cooking techniques in the food and confectionery industry. In *Extrusion Technology for the Food Industry*. O'Connor C, ed. Elsevier Applied Science, London and New York. p 1.
16. Cheftel JC, Kitagawa M, Queguiner C. 1992. New protein texturization process by extrusion cooking at high moisture levels. *Food Reviews International* 8: 235-275.
17. Park J, Rhee KS, Kim BK, Rhee KC. 1993. Single-screw extrusion of defatted soy flour, corn starch and raw beef blends. *J Food Sci* 58: 9-20.
18. Han O, Park YH, Lee SH, Lee HY, Min BL. 1989. The texturization properties of textured extrudate made by a mixture of rice flour and isolated soybean protein. *Korean J Food Sci Technol* 21: 780-786.
19. Carballo J, Barreto G, Colmenero FJ. 1995. Starch and egg white influence on properties of bologna sausage as related to fat content. *J Food Sci* 60: 673-677.
20. Penna ALB, Baruffaldi R, Oliveira MN. 1997. Optimization of yogurt production using demineralized whey. *J Food Sci* 62: 846-850.
21. Wu YE, Baek HH, Gerard PD, Cadwallader KR. 2000. Development of a meat-like process flavoring from soybean-based enzyme-hydrolyzed vegetable protein (E-HVP). *J Food Sci* 65: 1220-1227.
22. Sbodio OA, Tercero EJ, Coutaz R, Martinez E. 2002. Optimizing processing conditions for milk coagulation using the hot wire method and response surface methodology. *J Food Sci* 67: 1097-1102.
23. AOAC. 1970. *Official Methods of Analysis*. 11th ed. Association of official analytical chemists, Washington, DC.
24. Cochran WG, Cox GM. 1957. *Experimental Design*. John Wiley and Sons, New York.
25. SAS. 1985. *SAS User's Guide: Statistics*. Version 5 ed. SAS Institute Inc., Cary, NC.
26. Smith AK, Circle SJ. 1978. *Soybeans - Chemistry and Technology*. AVI Publishing Co., Westport, CT.
27. Breene WM. 1977. Problems in determining textural properties of textured plant protein products. *Food Technol* 31: 95-99.
28. Meilgaard M, Civille GV, Carr BT. 1987. *Sensory Evaluation Techniques*. CRC Press, Inc., Boca Raton, FL. Vol II.

(2004년 9월 11일 접수; 2004년 12월 3일 채택)