

## 반응 표면 분석에 의한 생강 분말을 첨가한 쌀 압출 성형물의 이화학적 성질

고 광 진

중앙대학교 식품가공학과

### Physicochemical Properties of Rice Extrudate with Added Ginger Powder by the Response Surface Regression Analysis

Kwang-Jin Koh

Department of Food Science and Technology, Chung-ang University, Ansong, Kyungki, 456-830, Korea

#### Abstract

This research was attempted to investigate changes in physicochemical properties of rice extrudate with added ginger powder extruded by single screw extruder. Graphic three dimensional analysis on response surface regression was used to evaluate effects of extrusion variables on quality factors of the extrudate according to two independent variables, ginger content 0~12%, moisture content 14~26%. The summarized results are as follows: 1) Regarding proximate composition of rice extrudate with added ginger powder, as ginger powder content of raw material increased, crude fat, crude protein, crude ash and crude fiber increased, while soluble nitrogen free extract decreased. 2) Graphic three dimensional analysis on response surface regression was conducted for each dependent variable which revealed statistically significant relationship with independent variables, 0~12% ginger and 14~26% moisture content. Expansion ratio had a critical point as moisture content changed. As ginger and moisture content increased, bulk density, break strength and water absorption index increased, while water solubility index decreased. The predicted maximum degree of gelatinization in 6.15% ginger and 15.56% moisture content is 88.27%, and lightness decreased as ginger content increased. According to the microstructure for the cross section of extrudate observed with image analyzer, air cell number and perimeter revealed saddle point, meanwhile total area and fractarea of air cell had critical points as moisture content changed.

In view of the results, quality of rice extrudate with added ginger powder was optimum when rice flour was fed to the extruder with 2~7% ginger powder and 15~20% moisture content.

Key words : rice, ginger, extrusion, response surface regression

#### 서 론

압출성형 방법에 의한 가공식품의 개발은 한번의 조작으로 분쇄(grinding), 압축(compressing), 혼합(mixing), 반죽(kneading), 전단(shearing), 용해

(melting), 살균(sterilizing), 반응(reacting), 성형(molding) 그리고 팽화(expanding)의 기능을 할 수 있는 간편성과 경제성 등의 장점 때문에 널리 활용되고 있다. 이러한 압출성형의 방법은 원료구성에 따라 또한 작업조건에 따라 압출성형의 최적조건이 다르게 나타나고 있다. 이러한 연구들은 쌀, 옥수수 등과 같이 단일물질에 대하여 많이 수행되어 왔으나<sup>1-3)</sup>, 한

등<sup>4)</sup>과 같이 2가지 이상의 원료를 혼합하여 압출성형 제조에 대한 연구는 그다지 많이 진행되어 있지 않다.

본 연구는 생강가루와 쌀가루를 혼합하여 압출성형시켜 생강스내과 같이 생강의 섭취를 간편케 하고, 2차 가공원료로서의 적성 및 공급을 호전시키기 위한 기초 자료를 얻기 위해 수행되었다.

따라서 본 연구에서는 단축스크류 압출성형기를 이용하여 압출성형할 때의 팽화조건을 설정하고, 3차원 반응표면 회귀분석<sup>5)</sup>을 하여 이화학적 특성인 팽화율, 밀도, 전단강도, 수분 흡수 지수, 수분 용해도 지수, 소화도, 색깔, 단위면적당 기공의 수, 기공의 둘레, 기공의 면적, 기공의 화적을 등을 평가하여 생강제품개발의 응용성 증진에 목적을 두고 실시하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험재료

본 실험에 사용한 재료는 150~200mesh로 건식제분한 쌀가루(광일식품)와 충청남도 서산에서 1991년에 생산된 생강을 55℃의 온도로 건조한 후 pin crusher mill(한국기계산업사)로 분쇄하여 30mesh 이하의 생강가루를 사용하였다.

### 2. 반응표면분석을 위한 압출성형물의 제조 및 공정 조건

반응표면 분석을 위하여 생강함량( $X_1$ : 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12%)과 수분함량( $X_2$ : 14, 16, 18, 20, 24, 26%)의 2가지 독립변수( $k=2$ )에 따른 2차 회귀모형의 반응을 아래와 같이 추정하였다.

$$\hat{Y} = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i < j} \beta_{ij} X_i X_j, \quad (k=2)$$

예비실험을 통하여 얻어진 독립변수들( $X_1, X_2$ )의 실험구간은 Table 1과 같이 설정, 요인실험을 하였다.

이때 조정된 시료를 밀봉하여 5℃에서 12시간 방치하여 수분평형을 시킨 다음, 예비실험을 거쳐 압출성형기의 최적인조건을 screw speed 258rpm, L/D ratio 5.0, die size  $\Phi$  60mm, barrel length 300mm, hole size  $\Phi$  6mm \* 1hole, 토출구 온도 110℃로 설정한 단축스크류 압출성형기로 제조하였다.

**Table 1. Design matrix for response surface regression analysis**

Design point i	Independent variables	
	Ginger(%)	Moisture(%)
1	0	14
2	0	20
3	0	26
4	2	16
5	2	22
6	4	18
7	4	18
8	6	14
9	6	20
10	8	16
11	12	14

### 3. 일반 성분 함량

실험재료 및 압출성형물의 수분, 조지방, 조단백질, 조회분 및 조섬유 함량은 A.O.A.C. 방법<sup>6)</sup>에 준하여 시험하였다.

### 4. 팽화율

압출성형물을 약 5cm의 크기로 잘라내어 한 시료당 20개를 준비한 다음 캘리퍼스로 직경을 측정하여 직경과의 비를 평균치로 하여 팽화율(expansion ratio;ER)을 산출하였다.<sup>7)</sup>

$$\text{Expansion ratio} = \frac{\text{시료의 직경}}{\text{토출구의 직경}}$$

### 5. 밀 도

건조된 시료를 약 20mm의 길이로 잘라내어 먼저 무게를 측정하고, 이것을 200cc메스실린더에 넣고 좁쌀 150cc를 부어넣고 평형이 될 때까지 서너번 두드린 다음 늘어난 용적을 구하여 다음식에 의해 가밀도(bulk density; BD)를 계산하였다.

$$\text{Bulk density} = \frac{\text{시료의 무게}}{\text{시료의 용적}}$$

### 6. 전단강도

압출성형물을 50mm 크기로 잘라내어 10개를 준비한 다음 조직감 측정 장치(texture test system;

model No. FTA-3000, Food Technology Corp., U. S. A.)를 사용하여 절단시험을 하였다. 이때 기기의 작동조건은 pressure 220psi, cross head speed 40sec./cycle, plunge diameter 56mm, chart speed 45 cm/min. 이었으며, 이때 측정치는 다음과 같은 계산식에 의해 시료의 경도를 산출하여 전단강도(break strength : BS)를 구하였다.

$$\text{시료의 경도(psi)} = \frac{77.5}{100} \times \frac{\text{측정치}}{100} \times 3,000$$

### 7. 수분 용해도 지수 및 수분 흡수 지수

수분 용해도 지수(water solubility index : WSI) 및 수분 흡수 지수(water absorption index : WAI)는 Anderson의 방법<sup>8)</sup>에 따라 압출성형물의 분말(60 mesh이하) 2.5g에 500ml의 증류수를 가하여 실온에서 30분 방치한 다음 3,000rpm에서 10분간 원심분리하고 상정액의 고형분량을 구하여 WSI를 산출하였다. 즉, WSI는 건조시료 1g에 함유한 수분함량으로 나타내었다. 그리고 침전물의 무게를 측정하여 WAI를 산출하였다.

### 8. 호화도

압출성형물의 호화도는 Kamoi등<sup>9)</sup>의 방법에 따라 시료 200mg을 가열 호화시킨 후 호화감액을 glucoamylase(ml당 100 $\mu$ 이상, Daiwa Kasei K.K., Japan)로 반응시켜 생성된 glucose를 Somogi-Nelson<sup>10)</sup>법으로 정량하여 산출하였다.

### 9. 명암도

생강 분말이 첨가된 쌀 압출성형물의 색깔을 50 mesh이하로 분쇄한 후 색차계(sperer spectrophotometer, Color Quest<sup>®</sup>, Hunter Lab. Inc., U.S. A.)로 측정하여 Hunter의 색차계인 L,a,b 및  $\Delta E$  값을 구한 후 L 값(lightness)만을 사용하였다. 그리고  $\Delta E$ (total color difference) 값을 다음식에 의하여 계산하였다.

$$\Delta E = \sqrt{(94.81 - L)^2 + (-0.96 - a)^2 + (0.43 - b)^2}$$

### 10. 미세구조 관찰

압출성형물의 미세구조를 화상분석기(image analyzer, PIAS, KIT-500, Hirox Co., LTD., Japan)를 이용하여 50배율로 관찰한 후 기공의 수(air cell No.), 기공의 둘레(perimeter), 기공의 면적(area) 및 기공의 화적율(fractarea)을 계산하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 일반 성분 함량

실험에 사용한 쌀, 생강 및 생강함량별 압출성형물의 일반 성분 함량을 Table 2에 나타내었다.

### 2. 압출성형물의 이화학적 성질

생강함량과 수분함량을 달리하여 제조한 압출성형

**Table 2. Proximate composition of rice, ginger and extrudate with added ginger power**

Composition		Moisture (%)	Crude fat (%)	Crude protein (%)	Crude ash (%)	Carbohydrate(%)	
						Soluble extract	Crude fiber
Raw materials	Rice	13.55	0.75	6.82	0.43	78.30	0.55
	Ginger	8.12	6.51	8.61	7.84	64.06	4.86
Extrudate	Rice : Ginger (100 : 0)	10.76	0.51	7.21	0.22	81.29	0.51
	( 98 : 2)	9.74	0.13	7.36	0.47	81.57	0.73
	( 96 : 4)	10.33	0.67	7.42	1.01	79.82	0.75
	( 94 : 4)	10.32	0.79	7.59	3.40	77.34	0.92
	( 94 : 6)	10.32	0.79	7.59	3.75	77.39	1.12
	( 88 : 12)	8.55	1.34	7.81	4.57	76.54	1.19

물의 팽화율, 밀도, 전단강도, 수분 흡수 지수, 수분 용해도 지수 및 호화도는 Table 3에 나타내었다.

압출성형물의 팽화율은 생강함량 12%, 수분 함량 14% 처리구가 2.03으로 가장 높게 나타났으며, 수분 함량이 제일 높은 26% 처리구가 0.75로 가장 낮게 나

타났다. 생강함량 6%, 수분함량 14% 처리구가 밀도는 0.0755로 가장 낮은 반면 수분 용해도 지수는 23.11%로 가장 높게 나타났으며, 전단강도는 생강함량 12%, 수분함량 14% 처리구가 93.51 psi로 가장 낮게 나타났다. 또한 수분 흡수 지수는 수분함량 14%, 생강

**Table 3. Physicochemical properties of rice extrudate with added ginger power**

Trt. No.	Independent* variables		Dependent variables**				
	GG ~ MO (%) (%)	ER	BD (g/cm <sup>3</sup> )	BS (psi)	WAI (%)	WSI (%)	DG (%)
1	0 ~ 14	1.25	0.0848	127.86	12.80	18.82	86.59
2	0 ~ 20	1.94	0.1966	160.06	15.06	18.52	85.99
3	0 ~ 26	0.75	0.2738	164.02	19.61	14.62	77.09
4	2 ~ 16	1.66	0.1249	177.54	13.72	20.60	87.84
5	2 ~ 22	1.60	0.2551	239.60	16.28	17.75	84.02
6	4 ~ 18	1.80	0.1880	243.55	14.04	21.38	87.56
7	4 ~ 18	1.84	0.1900	234.21	15.14	19.78	87.74
8	6 ~ 14	1.42	0.0755	161.88	14.55	23.11	87.97
9	6 ~ 20	1.75	0.2772	311.89	15.39	18.76	86.02
10	8 ~ 16	1.85	0.1692	216.70	15.00	22.04	88.12
11	12 ~ 14	2.03	0.1370	93.51	16.28	22.91	87.40

\*GG : Ginger content, MO : Moisture content.

\*\*ER : Expansion ratio, BD : bulk density, BS : break strength, WAI : water absorption index, WSI : water solubility index, DG : degree of gelatinization.

**Table 4. Changes in color of rice extrudate with added ginger power**

Trt. No.	GG ~ MO (%)	Lightness (L value)	Redness (a value)	Yellowness (b value)	$\Delta E^a$
1	0 ~ 14	87.79	0.73	10.55	12.43
2	0 ~ 20	86.70	-0.34	12.43	14.50
3	0 ~ 26	88.28	0.01	9.78	11.45
4	2 ~ 16	85.20	0.60	13.72	16.47
5	2 ~ 22	84.08	0.18	14.49	17.72
6	4 ~ 18	81.39	0.79	16.50	21.01
7	4 ~ 18	83.23	0.71	16.32	19.73
8	6 ~ 14	82.96	1.71	15.54	19.39
9	6 ~ 20	79.11	1.19	18.60	24.11
10	8 ~ 16	79.49	1.77	18.37	23.75
11	12 ~ 14	78.25	2.72	18.31	24.43
Raw materials					
Rice		91.03	-0.72	6.98	7.57
Ginger		69.97	3.82	20.99	32.60

$$a) \Delta E = \sqrt{(94.81-L)^2 + (-0.96-a)^2 + (0.43-b)^2} \quad (\Delta E : \text{total color difference})$$

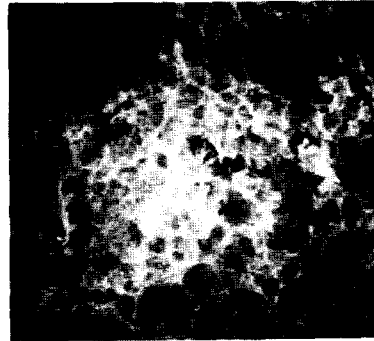
무침가구가 12.80%로 가장 낮으며, 소화도는 수분함량 26%, 생강 무침가구가 77.09%로 가장 낮고 나머지 처리구는 84~88%정도로 나타났다.

제조조건에 따른 압출성형물의 색깔은 Table 4와 같이 나타나는데 압출성형물의 명암도(L값)는 원료생강 분말보다는 높고 원료 쌀보다는 낮은 값을 보이고 있고, 생강함량이 증가할수록 a값, b값 및 ΔE값은 대체로 증가하는 경향을 나타내었다.

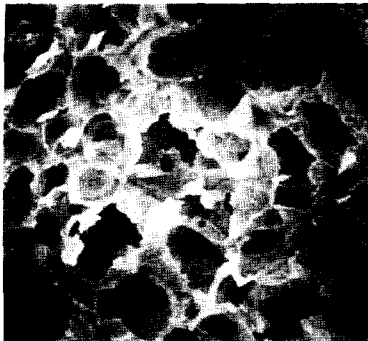
3. 압출성형물의 명암도



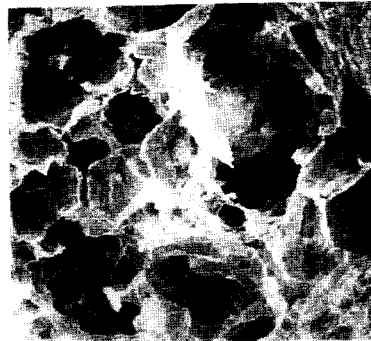
(Ginger 0%, Moisture 20%)



(Ginger 2%, Moisture 16%)



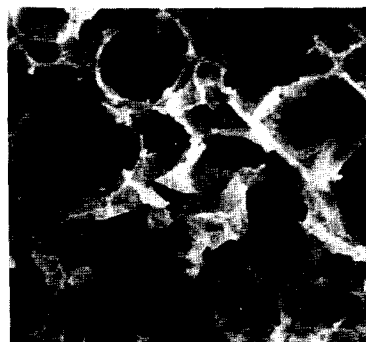
(Ginger 4%, Moisture 18%)



(Ginger 6%, Moisture 14%)



(Ginger 8%, Moisture 16%)



(Ginger 12%, Moisture 11%)

Fig.1 Microscopic photographs of rice extrudate with added ginger powder(×50).

**Table 5. Results of image analysis for rice extrudate with added ginger power**

Trt. No.	GG ~ MO (%) (%)	No. of air cell	Perimeter ( $\mu\text{m}$ )	Area ( $\mu\text{m}^2$ )	Fractarea (%)
1	0 ~ 14	248	3670.90 $\pm$ 35.65	264291.00 $\pm$ 2455.48	37.24 $\pm$ 0.70
		mean	14.80	1065.69	0.15
2	0 ~ 20	62	2022.20 $\pm$ 175.49	533613.00 $\pm$ 64021.87	75.18 $\pm$ 8.57
		mean	32.62	8606.66	1.21
3	0 ~ 26	129	1133.65 $\pm$ 30.26	73287.00 $\pm$ 11994.77	10.37 $\pm$ 2.53
		mean	8.79	568.12	0.08
4	2 ~ 16	157	2860.67 $\pm$ 113.62	418345.31 $\pm$ 27904.60	58.94 $\pm$ 4.14
		mean	18.22	2664.62	0.38
5	2 ~ 22	89	2106.52 $\pm$ 135.22	427958.69 $\pm$ 42038.58	60.31 $\pm$ 6.49
		mean	23.67	4808.52	0.68
6	4 ~ 18	108	2512.02 $\pm$ 142.45	504422.44 $\pm$ 44457.24	69.50 $\pm$ 6.76
		mean	23.26	4670.58	0.64
7	4 ~ 18	104	2576.46 $\pm$ 163.37	512377.42 $\pm$ 45274.72	73.74 $\pm$ 7.32
		mean	24.77	4926.71	0.71
8	6 ~ 14	179	2446.82 $\pm$ 83.35	314610.50 $\pm$ 20476.91	44.32 $\pm$ 4.21
		mean	13.67	1757.60	0.25
9	6 ~ 20	95	2721.62 $\pm$ 153.53	534454.64 $\pm$ 48428.58	75.30 $\pm$ 8.03
		mean	28.65	5625.84	0.79
10	8 ~ 16	91	2223.47 $\pm$ 163.54	536374.13 $\pm$ 62984.19	75.56 $\pm$ 10.18
		mean	24.43	5894.22	0.83
11	12 ~ 14	18	1059.88 $\pm$ 207.37	617535.81 $\pm$ 118376.58	86.98 $\pm$ 17.98
		mean	58.88	34307.55	4.83

**4. 압출성형물질의 미세구조**

생강함량 및 수분함량에 따른 압출성형물의 단면을 화상분석기를 이용하요 50배로 관찰한 것은 Fig. 1과 같고, 이것을 화상분석기를 이용하여 기공수, 기공의 둘레, 기공의 면적 및 기공의 화적율을 분석한 결과는 Table 5와 같이 나타났다.

**5. 종속변수들간의 상관관계 검토**

Table 6은 각 종속변수들간의 단순 상관관계를 나타낸 것으로 위험율 5%이내에서 유의적인 차이를 조사한 것이다. 표에서 보는 바와 같이 팽화율은 수분 용해도지수, 밀도, 명암도 및 기공의 수와 상관관계를 나타냈고, 밀도는 전단강도, 수분 흡수 지수, 수분 용해

**Table 6. Correlation matrix among dependent variables**

Dependent variables	ER (Y <sub>1</sub> )	BD (Y <sub>2</sub> )	BS (Y <sub>3</sub> )	WAI (Y <sub>4</sub> )	WSI (Y <sub>5</sub> )	DG (Y <sub>6</sub> )	LIG (Y <sub>7</sub> )	AC <sup>a)</sup> (Y <sub>8</sub> )
ER (Y <sub>1</sub> )		-0.108	0.186	-0.430	0.636*	0.761**	-0.677*	-0.619*
BD (Y <sub>2</sub> )			0.620*	0.676*	-0.687*	-0.622*	-0.034	-0.484
BS (Y <sub>3</sub> )				-0.017	-0.170	0.051	-0.330	-0.141
WAI (Y <sub>4</sub> )					-0.551	-0.848***	0.076	-0.440
WSI (Y <sub>5</sub> )						0.867***	-0.661*	-0.120
DG (Y <sub>6</sub> )							-0.530	-0.004
LIG (Y <sub>7</sub> )								0.567
AC <sup>a)</sup> (Y <sub>8</sub> )								

a) AC : Air cell number

\* significant at 5%, \*\* significant at 1%, \*\*\* significant at 0.1%

**Table 7. Mean values of each dependent variables**

Dependent variables	Mean	Unit
Expansion ratio (ER)	1.63	dimensionless
Bulk density (BD)	0.1793	g/cm <sup>3</sup>
Break strength (BS)	193.71	g
Water solubility index (WAI)	15.26	%
Water solubility index (WSI)	19.84	%
Degree of gelatinization (DG)	86.03	%
Lightness (LIG)	83.32	L value
No. of air cell (AC)	116.36	EA

도 지수 및 호화도에 대하여 높은 상관관계를 나타냈으며, 팽화율과 밀도에 대해서도 각각 1.0%이내, 5%이내에서 유의성을 나타냈다. 여기에서 측정된 각각의 종속변수들의 평균치는 Table 7과 같다.

**6. 반응표면분석에 의한 독립변수들의 이화학적 성질에 대한 영향**

독립변수인 생강함량, 수분함량에 대한 독립변수들의 종속변수에 대한 영향을 회귀분석하여 이때 산출된 회귀방정식의 각 항별로 유의성을 검토하여 Table 8에 생강함량 0~12%, 수분함량 14~26%의 주어진 범위에서 독립변수들이 각각 자유롭게 변할

**Table 8. Significance of terms in response surface analysis for graphic 3 dimension**

Process variable terms	Dependent variables							
	ER (Y <sub>1</sub> )	BD (Y <sub>2</sub> )	BS (Y <sub>3</sub> )	WAI (Y <sub>4</sub> )	WSI (Y <sub>5</sub> )	DG (Y <sub>6</sub> )	LIG (Y <sub>7</sub> )	AC (Y <sub>8</sub> )
Liner:								
GG(X <sub>1</sub> )	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
MO(X <sub>2</sub> )	***	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Quadratic:								
GG <sup>2</sup> (X <sub>1</sub> <sup>2</sup> )	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
MO <sup>2</sup> (X <sub>2</sub> <sup>2</sup> )	***	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Crossproduct:								
GG · MO (X <sub>1</sub> · X <sub>2</sub> )	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns
Number of significant terms:								
(Max,5)	2	0	2	0	0	0	0	0

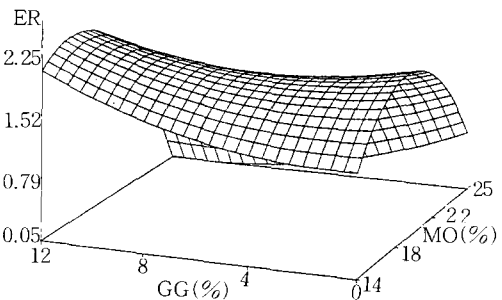
\* significant at 5%, \*\* significant at 1%, \*\*\* significant at 0.1%, ns: not significant

때 나타나는 종속 변수들에 대한 전체적인 유의성을 나타내었다. 팽화율은 수분함량의 작용이 크게 영향을 미치고, 전단강도는 생강함량의 2차 효과의 영향이, 그리고 생강과 수분함량의 교호작용의 영향이 나타남을 알 수 있으며, 나머지 종속변수는 독립변수에 대하여 유의성이 없는 것으로 나타났다.

**1) 팽화율에 대한 영향**

주어진 범위에서 2가지 독립변수인 생강함량(0~12%)과 수분함량(14~26%)이 변할 때 팽화율(expansion ratio)에 대하여 추정된 반응표면 회귀식은 아래와 같으며, 인삼함량이 증가하면서 팽화율은 약간 증가하고 수분함량에 따라서는 변곡점(critical point)을 형성하는 것으로 나타났다. 최적반응을 보였을 때의 각요인들의 임계치(critical value)는 생강함량 4.30%, 수분함량 18.37%이며 이 때 팽화율의 최적 추정치는 1.83이었다. 이에 대한 3차원 그래픽 반응표면을 Fig. 2에 나타내었다.

$$\hat{Y}_1^{***} = -7.7101 + 0.1325 X_1 + 1.0074 X_2^{***} + 0.0061 X_1^2 - 0.0262 X_2^2^{***} - 0.0101 X_1 X_2 \quad (R^2 = 0.7302)$$



**Fig. 2. Graphical optimization of ginger content (GG) and moisture content(MO) for expansion ratio (ER) of rice extrudate with added ginger powder.**

**2) 밀도에 대한 영향**

주어진 범위에서 2가지 독립변수가 변할 때 밀도(bulk density)에 대한 추정된 반응표면 회귀식은 아래와 같으며, Fig. 3에서 보는 바와 같이 주어진 범위에서 생강함량과 수분함량이 교호적으로 증가함에 따라 증가의 폭이 커짐을 알 수 있었다.

$$\hat{Y}_2^{***} = -0.3104 - 0.0425 X_1 + 0.0349 X_2 + 0.0010 X_1^2 - 0.0005 X_2^2 + 0.0025 X_1 X_2 \quad (R^2=0.8067)$$

3) 전단강도에 대한 영향

주어진 범위에서 2가지 독립변수가 변할 때 전단 강도에 대한 추정된 반응표면 회귀식은 아래와 같으며, Fig. 4에서 보는 바와 같이 생강함량이 증가하고 수분함량이 증가할수록 전단강도(break strength)가 증가함을 나타내었다.

$$\hat{Y}_3 = -57.0362 - 31.6142 X_1 + 18.6962 X_2 - 1.4221 X_1^2 - 0.3921 X_2^2 + 3.2726 X_1 X_2 \quad (R^2=0.8821)$$

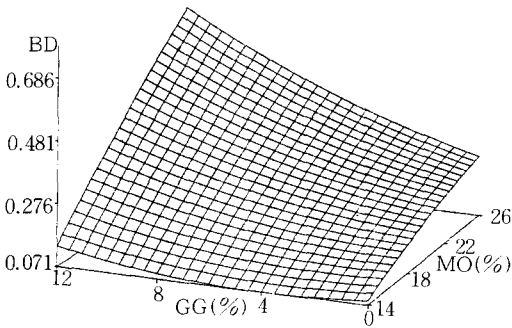


Fig. 3. Graphical optimization of ginger content(GG) and moisture content(MO) for bulk density(BD) of rice extrudate with added ginger powder.

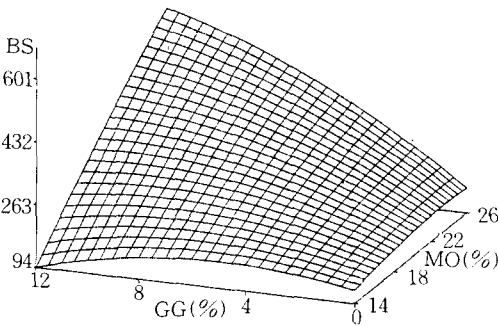


Fig. 4. Graphical optimization of ginger content(GG) and moisture content(MO) for break strength(BS) of rice extrudate with added ginger powder.

4)수분 흡수 지수에 대한 영향

주어진 범위에서 2가지 독립변수인 생강함량(0~

12%)과 수분함량이 변할 때 수분 흡수 지수(water absorption index)에 대하여 추정된 반응표면 회귀식은 아래와 같으며 수분 흡수 지수에 대한 3차원 그래픽 반응표면은 Fig. 5에서 보는 바와 같이 수분함량과 생강함량이 증가할수록 증가함을 나타내었다.

$$\hat{Y}_1 = 16.4443 + 0.8391 X_1 - 0.7058 X_2 - 0.0002 X_1^2 + 0.0318 X_2^2 - 0.0391 X_1 X_2 \quad (R^2=0.8101)$$

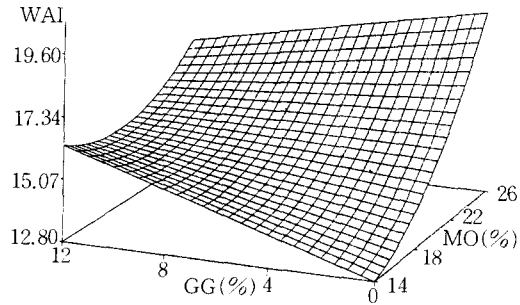


Fig. 5. Graphical optimization of ginger content(GG) and moisture content(MO) for water absorption index(WAI) of rice extrudate with added ginger.

5)수분 용해도 지수에 대한 영향

주어진 범위에서 2가지 독립변수가 변할 때 수분 용해도 지수(water solubility index)에 대한 추정된 반응표면 회귀식은 아래와 같으며, 주어진 범위에서 수분함량과 생강함량의 변화에 따라 수분 용해도 지수는 Fig. 6과 같은 추정된 3차원 그래프를 나타내었다.

$$\hat{Y}_5^{***} = 5.5148 + 2.6599 X_1 + 1.6518 X_2 - 0.0623 X_1^2 - 0.0501 X_2^2 - 0.1123 X_1 X_2 \quad (R^2=0.7224)$$

6)호화도에 대한 영향

주어진 범위에서 두 독립변수의 변화에 따른 호화도에 대한 추정된 반응표면 회귀식은 아래와 같으며, 최대점(maximum point)에서 최적 반응표면을 나타내었다. 최적반응을 나타내었을 때 각 요인들의 임계치는 생강함량 6.15%, 수분함량 15.56%로 이때의 최적 추정치는 88.27%이었다. 호화도에 대한 3차원 반응표면 그래프는 Fig. 7에 나타내었다.



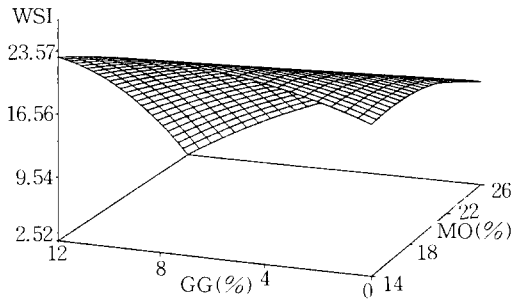


Fig. 6. Graphical optimization of ginger content(GG) and moisture content(MO) for water solubility index(WSI) of rice extrudate with added ginger.

$$\hat{Y}_6 = 55.6961 + 0.9204 X_1 + 3.8220 X_2 - 0.0272 X_1^2 - 0.1154 X_2^2 - 0.0377 X_1 X_2 \quad (R^2 = 0.2759)$$

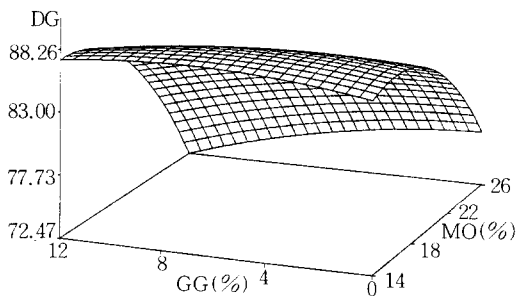


Fig. 7. Graphical optimization of ginger content(GG) and moisture content(MO) for degree of gelatinization(DG) of rice extrudate with added ginger.

7)명암도에 대한 영향

두가지 독립변수인 생강함량, 수분함량이 주어진 범위에서 변환 때 명암도(lightness)에 대하여 추정된 반응표면 회귀식은 아래와 같으며, Fig. 8에서 보는 바와 같이 생강함량이 증가할수록 명암도가 현저하게 감소됨을 알 수 있었다.

$$\hat{Y}_7 = 100.7374 + 0.2576 X_1 - 1.4443 X_2 + 0.0017 X_1^2 + 0.0371 X_2^2 - 0.0767 X_1 X_2 \quad (R^2 = 0.8217)$$

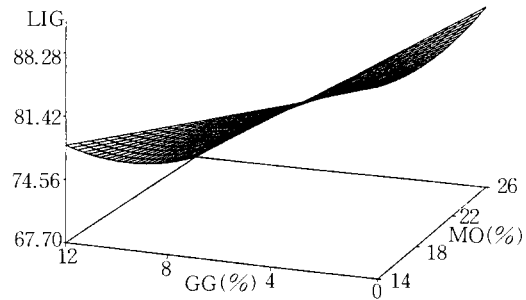


Fig. 8. Graphical optimization of ginger content(GG) and moisture content(MO) for lightness (LIG) of rice extrudate with added ginger powder.

8)기공수에 대한 영향

생강함량 및 수분함량에 따른 압출성형물의 단면을 화상분석기를 이용하여 분석한 결과를 두가지 독립변수가 변환 때 기공수(air cell number)에 대하여 추정된 반응표면 회귀식은 아래와 같으며, 이에 대한 3차원 그래픽 반응표면은 Fig. 9에서 보는 바와 같이 안부점(saddle point)를 나타내었다. 여기에서 최적반응을 보였을 때 각 요인들의 임계치는 생강함량 4.6%, 수분함량 19.57%로 이 때 기공수의 최적 추정치는 94.88 이었다.

$$\hat{Y}_8 = 1658.83 - 42.68 X_1 - 149.75 X_2 - 1.30 X_1^2 + 3.50 X_2^2 + 2.79 X_1 X_2 \quad (R^2 = 0.6868)$$

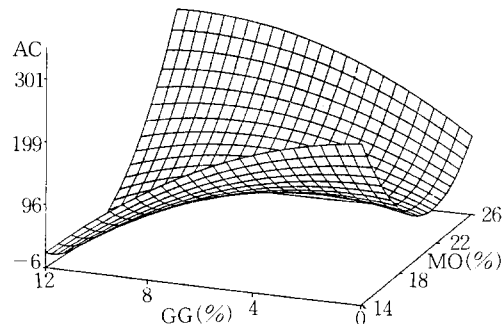


Fig. 9. Graphical optimization of ginger content(GG) and moisture content(MO) for air cell number(AC) of rice extrudate with added ginger powder.

9)기공의 총둘레에 대한 영향

두가지 독립변수인 생강함량, 수분함량이 주어진 범위에서 변할 때 단위면적당 기공의 총둘레(perimeter)에 대하여 추정된 반응표면 회귀식은 아래와 같으며, 이에 대한 3차원 반응표면 그래프인 Fig. 10에서 보는 바와 같이 최적반응을 보였을 때 요인들의 임계치는 생강함량 4.76%, 수분함량 17.97%로 이 때 기공 총둘레의 최적 추정치는 2546.48 $\mu$ m이었다.

$$\hat{Y}_9 = 10474 - 938.46 X_1 - 633.74 X_2 - 2.26 X_1^2 + 10.56 X_2^2 + 53.43 X_1 X_2 \quad (R^2=0.6189)$$

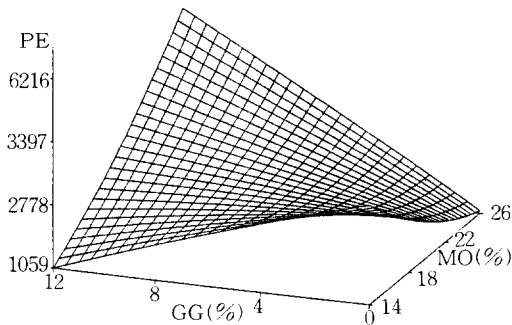


Fig. 10. Graphical optimization of ginger content(GG) and moisture content(MO) for perimeter(PE) of rice extrudate with added ginger powder.

10) 기공의 총면적에 대한 영향

주어진 범위에서 생강함량과 수분함량이 변할 때 화상분석기를 통한 단위면적당 기공의 총면적(area)에 대하여 추정된 반응표면 회귀식은 아래와 같으며, 이에 대한 3차원 그래프 반응표면은 Fig. 11과 같이 생강함량이 증가함에 따라 기공의 총면적은 증가하면서 수분함량에 따라서는 변곡점(critical point)을 형성하는 것으로 나타났다. 이 때 최적반응을 보였을 때 각 요인들의 임계치는 생강함량 2.79%, 수분함량 19.03%로 이 때 기공의 총면적에 대한 최적 추정치는 512370 $\mu$ m<sup>2</sup>이었다.

$$\hat{Y}_{10} = -3201647 + 6577.49 X_1 + 389443 X_2 + 3508.41 X_1^2 - 10134 X_2^2 - 1374.38 X_1 X_2 \quad (R^2=0.8252)$$

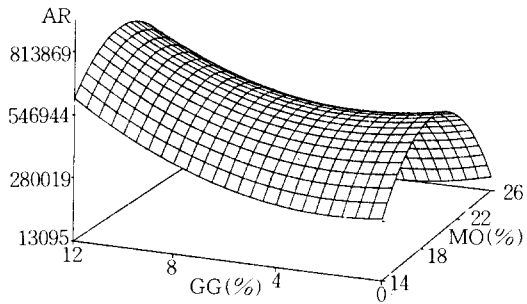


Fig. 11. Graphical optimization of ginger content(GG) and moisture content(MO) for total area of air cells(AR) of rice extrudate with added ginger powder.

11) 기공의 화적율에 대한 영향

압출성형물의 단면을 화상분석기를 이용하여 50배율로 관찰하여 단위 면적당 기공의 화적율을 구하고, 2 가지 독립변수인 생강함량과 수분함량이 주어진 범위에서 변할 때 기공의 화적율에 대한 추정된 반응표면 회귀식은 아래와 같으며, 이에 대한 3차원 그래프 반응표면은 Fig. 12와 같다. 이때 최적반응을 보였을 때 각 요인들의 임계치는 생강함량 2.79%, 수분함량 19.03%로 이 때 기공의 화적율에 대한 최적 추정치는 72.16%이었다.

$$\hat{Y}_{11} = -450.88 + 0.92 X_1 + 54.85 X_2 - 0.49 X_1^2 - 1.43 X_2^2 - 0.19 X_1 X_2 \quad (R^2=0.8252)$$

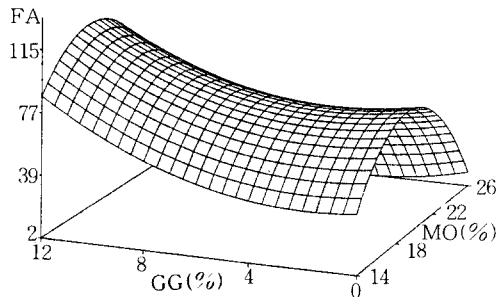


Fig. 12. Graphical optimization of ginger content(GG) and moisture content(MO) for fractarea of air cells(FA) of rice extrudate with added ginger powder.

요 약

본 연구에서는 단축 스크류 압출성형기를 이용하여

생강분말을 첨가한 쌀가루를 압출성형시켰을 때 일어나는 이화학적 성질 변화를 반응표면 실험계획법에 의하여 분석하였다.

생강가루를 첨가한 쌀 압출성형물의 일반성분의 변화는 생강분말의 첨가량이 증가할수록 가용성 부질소물의 함량은 감소하는 반면 조지방, 조단백질, 조회분 조섬유 함량은 증가하였다.

2가지 독립변수인 생강함량(0~12%)과 수분함량(14~26%)의 주어진 범위에서 각 종속변수인 이화학적 성질에 대하여 3차원 반응표면 회귀분석하였을 때, 팽화율은 수분함량에 따라서는 변곡점(critical point)을 형성하면서 생강함량 4.30%, 수분함량 18.37%일 때 최적반응을 나타내었는데 이때 팽화율의 최적추정치는 1.83이었고, 밀도와 전단강도는 수분함량과 생강함량이 교호적으로 증가함에 따라 증가의 폭이 커짐을 알 수 있었다. 또한 수분함량과 생강함량이 많아지면서 수분흡수 지수는 증가하였고, 수분 용해도 지수는 감소하였다. 호화도는 생강함량 6.15%, 수분함량 15.56%일 때 최대점을 나타내어 이때의 최적추정치는 88.27%이었고, 명암도는 생강함량이 증가할수록 반대로 감소함을 나타내었다.

한편, 화상분석기를 이용하여 관찰한 미세구조를 2가지 독립변수인 생강함량과 수분함량의 주어진 범위에서 3차원 반응표면 회귀분석한 결과, 최적반응을 보였을 때 각 요인들의 임계치는 생강함량 4.62%, 수분함량 19.57%로 단위 면적당 기공수의 최적 추정치는 94.88개이고, 생강함량 4.76%, 수분함량 17.97%일 때 기공 총둘레에 대한 최적 추정치는 2546.48 $\mu\text{m}$ 로 안부점(saddle point)을 형성하였다. 그리고 생강함량 2.79%, 수분함량 19.03%일 때 기공 총면적과 기공의 화적율에 대한 최적 추정치는 각각 512370 $\mu\text{m}^2$ , 76.16%이었고, 생강함량이 증가하면서 기공의 총면적과 화적율은 증가하면서 수분함량에 따라서는 변곡점을 형성하였다.

이상의 결과를 종합하여 볼 때, 생강가루와 쌀가루를 혼합하여 제조한 extrudate의 품질은 토출구 온도 110 $^{\circ}\text{C}$ 에서 쌀가루에 생강분말 2~7%를 섞어 수분함량 15~20%로 조정하여 압출 팽화할 때 우수하였다.

## 참고문헌

1. Kumagai, H., Lee, B.H. and Yano, T. : *J. Agric. Biol. Chem.*, 51, 2067(1987)
2. de Mosqueda, M.B., Perez, C.M. and Juliano, B.O. : *Food Chem.*, 19, 173(1986)
3. 류기형, 이철호 : 한국식품과학회지, 20(4), 463 (1988)
4. 한 억, 박용호, 이상효, 이현유, 민병용 : 한국식품과학회지, 21(6), 780(1989)
5. 박성현 : 회귀분석, 민영사, 서울, p.411-444 (1990)
6. A.O.A.C. : *Official Methods of Analysis*, 15th ed., Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia, (1990)
7. 한국식품 Extrusion연구회 : 식품 Extrusion 기술, 유림문화사, 서울, p.224(1988)
8. Anderson, R.A. : *J. Cereal Chem.*, 59(4), 265 (1982)
9. Kamoi, I., Shinozaki, T., Matsumoto, S., Tanimura, W. and Obara, T. : *J. Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, 25(8), 431(1978)
10. 정동효, 장현기 : 식품분석, 진로연구소, 서울, p.174(1986)

(1993년 8월 13일 수리)