

반응 표면 분석방법을 이용한 쌀 압출 성형물 제조조건 최적화

이상현·김창근*

장안전문대학 식품영양과, (주)정풍 식품연구소*

Optimization for Extrusion Cooking Conditions of Rice Extrudate by Response Surface Methodology

Sang-Hyun Lee, Chang-Keun Kim*

Dept. of Food and Nutrition, Changan Junior College, Whasung 445-756, Korea

Lab. of Food Research, Jung-Poong Inc., Cheonan 330-080, Korea*

Abstract

To optimize extrusion cooking condition of single screw extruder for production of puffed rice extrudate using response surface methodology (RSM), moisture content, barrel temperature and screw speed were determined from contour maps, showing relationship between dependent (hardness, expansion ratio, water absorption index, water solubility index, degree of gelatinization) and independent variables. Optimum operational conditions for production of puffed rice extrudate with suitable quality properties were moisture content 17%, barrel temperature 125°C and screw speed 210 rpm, respectively

Key words : puffed rice extrudate, extrusion cooking

서 론

우리나라는 수 천년 전부터 쌀을 이용한 여러 가지 전통 식품에 식습관이 길들여져 왔으나, 1950년대부터 시작된 수입 밀가루의 영향으로 빵, 면류, 과자류가 우리 식탁에 변화를 주어 쌀의 비중이 점차 감소되어 왔다. 최근 농산물 시장의 개방 추세에 대응하여, 우리 농산물의 중요성이 강조되고 있으며, 특히 밀가루를 대신할 쌀을 소재로 한 가공품의 개발이 절실히 요구되고 있다.

식품의 압출성형 방법¹⁾은 적절한 수분 함량을 갖는 시료를 압출성형기 내에서 가열과 스크류의 회전으로 인해 분해, 압축, 전단, 팽화, 살균 및 성형의 여러가지 효과가 한번에 이루어지는 기술로써 유아식, 스낵, 면류 등 식품산업에 널리 이용되는 기술이다. 이 방법에 사용되는 원료 중 쌀을 이용한 연구는 쌀의 품종에 따른 압출물의 점도²⁾, 쌀 스낵의 제조³⁾, 쌀가루와 다른

원료의 혼합⁴⁾, 알과 미분 제조⁵⁾, 쌀가루로 제조된 압출물의 물성⁶⁾, 쌀의 원료상태와 압출조건⁷⁾ 등의 연구가 있다.

본 연구는 쌀을 소재로 하여 옥수수, 밀가루 또는 감자 제품을 대체할 스낵을 개발하기 위하여, 스낵이 갖추어야 할 적합한 텍스처의 조건을 단축 스크류 압출 성형기를 사용하여 설정하는데 목적을 두었다. 이를 위하여 압출물의 품질 특성과 운전 조건의 관계를 반응표면방법⁸⁾으로 분석하여 여러 조건을 최적화 하기 위한 실험적 연구를 시도하였다.

재료 및 방법

1. 재 료

본 실험의 재료는 1993년 가을 수인 근교에서 수확된 햅쌀 섬진(Sumjin)품종이며, 건식 제분하여 150~200 mesh의 쌀가루로 만든 뒤 가수량을 계산하여 Hobart mixer로 혼합하였다. 5°C에서 3시간 동안 수분 평형화를 시켜 시료로 사용하였다.

2. 변수와 반응의 관계분석

쌀 압출성형물의 최적 제조조건을 설정하기 위하여 수분함량, 스크류 회전 속도, 배럴의 온도 등 3가지 요인변수와 경도, 팽화율, 수분용해도 지수, 수분흡수지수, 호화도를 반응변수로 하여 얻은 결과를 반응 표면 분석법(response surface methodology : RSM)⁹⁾의 computer program(The National Food Lab, U.S. A)으로 분석하였다. 즉 수분함량(X_1), 스크류 속도(X_2), 배럴의 온도(X_3)의 세 가지 독립 변수($K=3$)와 반응과의 관계를 다음과 같은 2차 회귀모형으로 추정하였다.

$$Y = \beta_0 + \sum \beta_1 X_i + \sum \beta_{ij} X_i X_j \quad (K=3)$$

예비 실험을 통하여 얻어진 독립변수들(X_1 , X_2 , X_3)의 실험 구간은 Table 1과 같이 설정하여 3³요인 실험계획으로 하였다. 따라서 $K=3$ 이므로 본 실험에서 행한 총 실험수는 아래식에 따라 15개로 하였다.

$$n = 2^K + 2K + n_0 \quad (n=1)$$

이때 3³요인 실험점(2^K)은 8개, 축점($2K$)은 6개, 중심점(n_0)은 1개이며 이에 따른 직교배열표는 Table 2와 같다. Table 2에 해당하는 실험 처리구는 Table 1의 조건으로 정하였다.

3. 압출성형물의 제조

단축 스크류 압출성형기는 20마력과 10단 변속 시스템의 기능을 가지고 있는 국내 제작 제품을 사용하였으며(Fig. 1) 예비실험⁹⁾을 거쳐 설정한 압출성형기의 운전 조건(Table 3)은 수분함량 17~19%, 스크류 회전속도 160~260 rpm, L/D ratio 7.5, die size 6mm × 1 hole, 배럴길이 45 mm로 설정하였고 또한 압출성형물의 팽화율을 좀 더 높이기 위하여 배럴길이 30mm, die size 8mm×1 hole, 스크류 회전속도 160~260 rpm, L/D ratio 5.0으로 설정하여 압출성형물을 제조하였다.

Table 1. Experimental design for optimization of operating conditions of the extrusion cooker by response surface methodology

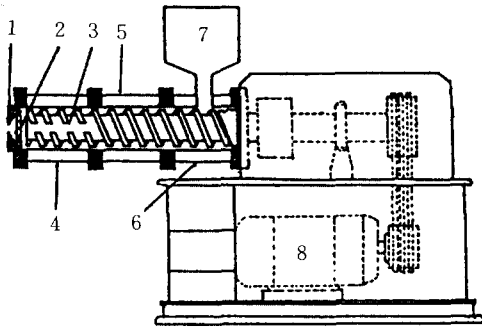
Variables	Levels			Responses	
	-0.1	0.0	1.0		
(X_1) Moisture content(%)	17.0	19.0	21.0	(Y_1)	Hardness
(X_2) Screw speed(rpm)	160.0	210.0	260.0	(Y_2)	Expansion ratio
(X_3) Barrel temp.(°C)	110.0	120.0	130.0	(Y_3)	WSI

Table 2. Coordinates of points of three variables composite design

Design point	Variables			Design point	Variables		
	X_{1i}	X_{2i}	X_{3i}		X_{1i}	X_{2i}	X_{3i}
1	-1	-1	0	9	0	-1	-1
2	1	-1	0	10	0	1	-1
3	-1	1	0	11	0	-1	1
4	1	1	0	12	0	1	1
5	-1	0	-1	13	0	0	0
6	1	0	-1	14	0	0	0
7	-1	0	1	15	0	0	0
8	1	0	-1				

Table 3. Extrusion conditions of the rice extrudate

Parameters	Extruion conditions
Screw speed	160~260 rpm
Type of barrel grooves	Straight and piral
Type of screw	Puffing
L/D ratio	5.0/7.5
Die size	6.8mm×1 hole
Preheating temp.	50°C
Die temp.	110~130°C
Cooling water input	1/2 open
Temp. recording	2 points(Ellab Co.)
Barrel length	30,45cm(2,3 section)

**Fig. 1. Diagram of single screw extruder.**

1. die plate, 2. break plate, 3. screw, 4. heating barrel, 5. cooling barrel, 6. hopper barrel, 7. hopper, 8. motor

4. 팽화율

압출성형물을 10cm 내외의 적당한 길이로 잘라 내어 한 시료당 10개를 준비한 다음 캘리퍼스로 직경을 측정하여 토출구 직경과의 비를 평균치로 산출하였다.

5. 수분흡수지수(WAI)와 수분용해도지수(WSI)

제조한 압출성형물의 WAI 와 WSI 값은 Anderson의 방법¹⁰⁾에 따라 시료 분말 2.5g을 30°C 증류수 30ml에 30분간 용해한 뒤 3,000×g에서 10분간 원심 분리하고 상등액을 증발 접시에 옮긴 다음 gel의 무게

를 측정하여 시료의 g당 무게로 표시하였고, WSI의 측정에는 위의 WAI 측정에서 증발접시에 모은 상등액을 건조시켜 얻어진 고형분의 무게를 건조시료에 대한 %로 나타내었다.

6. 텍스처의 측정

압출성형물의 텍스처 측정은 일정한 크기의 압출 성형물을 진단하는데 필요한 힘을 Rheometer(Sun Scientific, CR 2000 D)로 측정하였다. 작동조건은 crosshead의 무게 10kg, speed 60mm/min, chart speed 100mm/min이었다. 그리고 경도측정은 Texture Test System(Food Technology Co. U.S.A.)으로 측정하였고, 운전조건은 chart speed 45mm/min, cross head speed 40sec/cycle, plunger diameter 2×5.5mm이었으며, sample cell은 compress test cell을 사용하였다.

7. 호화도

압출성형물의 호화도는 Kamoi 등¹¹⁾의 방법에 따라 시료 200g을 가열 호화시킨 후 호화검액을 glucoamylase 로 반응시켜 생성된 glucose를 Somogyi-Nelson 법¹¹⁾으로 정량하였다.

결과 및 고찰

1. 압출성형물의 이화학적 특성

스낵으로서 갖추어야 할 품질 특성은 부스러짐성 그리고 용해성 등이며¹¹⁾, 이들 특성은 압출성형시 생성되는 기공의 수, 크기 및 균일성과 전분 단백질 등의 물리, 화학적 상태와 밀접한 관련이 있다.

전보⁹⁾의 실험 결과를 바탕으로 팽화성, 부스러짐성, 용해성 등이 우수한 스낵용 쌀 압출성형물 제조의 최적조건을 설정하기 위하여 Table 1의 조건으로 제조한 쌀 압출성형물의 이화학적 특성을 분석한 결과는 Table 4와 같다. 수분함량, 스크류 회전속도, 배럴의 온도 등의 변수에 따라서 경도, 팽화도, 수분흡수지수, 수분용해도지수 및 호화도가 변화하였는데 이 분석 결과를 반응 표면 방법의 자료로 사용하였다.

Table 4. Quality attributes of the rice extrudate to optimize operating conditions of the single screw extruder by response surface methodology

Moisture content (%)	Screw speed (rpm)	Barrel temp. (°C)	Hardness (psi)	Expansion ratio	WSI	WAI	DG* (%)
17.0	160	120	435.15	1.98	21.4	5.61	95.05
21.0	160	120	617.34	1.34	18.6	5.87	85.63
17.0	260	120	421.67	1.78	21.6	5.08	95.83
21.0	260	120	572.46	1.83	19.6	5.24	86.45
17.0	210	110	543.78	2.06	21.0	5.49	93.28
21.0	210	110	663.51	1.32	19.2	6.12	86.73
17.0	210	130	428.13	1.61	20.8	5.52	96.63
21.0	210	130	549.70	1.42	20.4	5.59	89.83
19.0	160	110	533.16	1.87	20.4	5.35	92.03
19.0	260	110	679.84	1.61	20.4	5.23	90.97
19.0	160	130	482.64	1.56	21.6	5.57	94.74
19.0	260	130	517.81	1.37	21.6	5.43	95.00
19.0	210	120	584.43	1.74	19.2	5.31	94.78
19.0	210	120	562.98	1.72	21.4	5.28	91.88
19.0	210	120	578.92	1.84	22.0	5.16	92.57

* Degree of gelatinization

2. 부서짐성(brittleness)

스낵의 부서짐성은 너무 커도, 너무 작아도 좋지 않고 적당해야 하는데 이 등¹⁾은 쌀 압출성형물은 스낵으로써 부서짐성이 좋아야 하고 단단하지 않아야 한다고 추천하고 있으며 특히 찹쌀이 멬쌀보다 좋은 텍스처를 갖는다고 보고하였다. 따라서 본 연구에는 가급적 낮은 전단강도, 높은 팽화율, 높은 수분용해도 지수의 조건을 설정하고 실시하였다.

세가지 독립변수인 수분함량(17~21%), 토출구 온도(110~130°C) 및 스크류 회전속도(160~260 rpm)가 주어진 범위에서 변할 때 전단강도에 대하여 추정된 반응표면 회귀식은 아래와 같다.

$$Y_1 = 686.767 - 54.575 X_1 + 23.275 X_2 - 33.675 X_3 - 198.471 X_1^2 - 30.971 X_2^2 - 63.571 X_3^2 - 475 X_1 X_2 + 81.255 X_1 X_3 - 48.825 X_2 X_3$$

가장 적합한 반응조건을 보인 것은 각 변수들이 수분함량 17%, 스크류 회전속도 210~260 rpm, 배럴의 온도 120~130°C일 때 경도(hardness)의 최적 추정

치는 380 psi이었다. 수분함량을 17%로 고정하였을

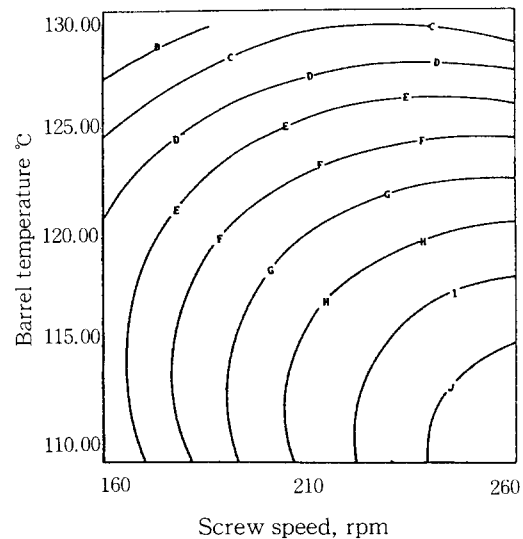


Fig. 2. Contour map showing effects of screw speed and barrel temperature on hardness of puffed rice extrudate.

때 스크류 회전속도, 배럴의 온도가 경도에 미치는 영향을 반응표면 분석방법으로 작성한 contour map은 Fig. 2와 같다. 여기에서 최적 전단강도는 380 psi이었다.

3. 팽화율

압출성형물의 팽화는 압출성형기 내부에서 일어나는 총밀립변형과 열발생으로 인하여 물질의 부분적인 용융이 일어나 die를 경계로 하여 고압에서 저압으로 나오면서 일어나는 현상으로 분자의 재배열과 수분 및 휘발성 물질들의 증발을 동반하며 원료의 사입속도, 스크류 회전속도, 배럴 온도에 영향을 받는다.¹²⁾

수분함량을 고정시키고 스크류 회전속도(160~260 rpm)와 배럴의 온도(110~130°C)를 변화시켰을 때 팽화율에 대하여 추정된 반응표면 회귀식은 다음과 같다.

$$Y_1 = 1.833 - 0.225 X_1 - 0.05 X_2 - 0.075 X_3 - 0.154 X_1^2 - 0.054 X_2^2 - 0.104 X_3^2 + 0.075 X_1 X_2 + 125 X_1 X_3 - 0.075 X_2 X_3$$

이를 토대로 반응 표면 분석법으로 작성한 contour map은 Fig. 3과 같으며, 최적조건은 수분함량 17%, 스크류 회전속도 210 rpm, 배럴의 온도 120°C일 때 이었으며 팽화율의 최적 수치는 1.88이었다.

4. 수분용해도지수(WSI)

수분용해도지수와 수분흡수지수는 팽화도와 호화도에 영향을 받으며 스낵 제품으로써 이들 수치는 높을수록 좋은 품질로 인정된다. 본 연구에서는 두 지수중에서 수분용해도지수에 대하여 조건 설정을 시도하였다.

세가지 독립변수인 수분함량, 배럴의 온도(110~130°C) 및 스크류 회전속도(160~260 rpm)가 변화할 때 수분용해도지수에 대하여 추정된 반응 표면 회귀식은 다음과 같다.

$$Y_1 = 19.167 - 1.237 X_1 + 0.150 X_2 + 0.213 X_3 + 0.292 X_1^2 - 0.133 X_2^2 + 0.342 X_3^2 + 0.075 X_1 X_2 - 0.350 X_1 X_3 + 0.525 X_2 X_3$$

위의 식과 Table 4의 자료를 입력하여 반응 표면 분

석법으로 작성한 contour map은 Fig. 4와 같다. 수분

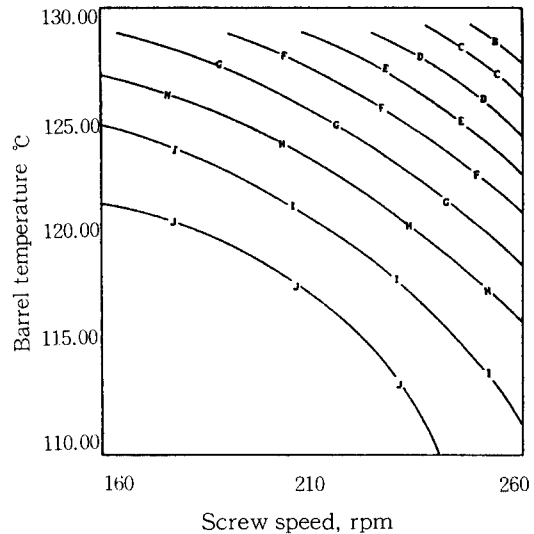


Fig. 3. Contour map showing effects of screw speed and barrel temperature on expansion ratio of puffed rice extrudate

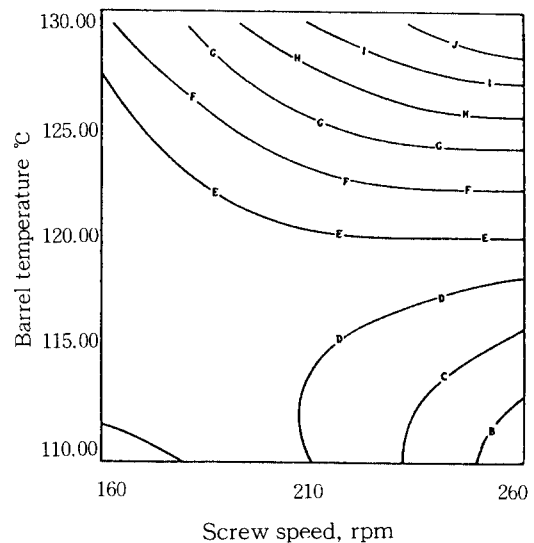


Fig. 4. Contour map showing effects of screw speed and barrel temperature on WSI of puffed rice extrudate

함량을 17%로 고정하였을 때 배럴의 온도는 ≥ 130 °C, 스크류 회전속도 ≥ 260 로써 이때 수분용해도지수는 21.87로 최적조건이었다.

수분용해도지수와 수분흡수지수는 Anderson¹⁰⁾에 의하면 배럴의 온도가 상승함에 따라 증가하다가 일정 온도 이상에서는 감소하는 추세를 보인다고 하였고, Gomez 등^{13,14)}은 생전분이 압출성형시 호화 및 충밀립 등의 전단력을 받아 호정화가 일어나 WSI가 증가한다고 보고하였다. 본 연구에서는 상기 조건에서 가급적 높은 WSI를 나타내는 운전 조건을 설정할 수 있었다.

5. 반응 표면 방법에 의한 분석 결과의 종합

수분 함량, 스크류 회전속도, 배럴의 온도를 변수로 하여 반응 표면 분석법으로 컴퓨터 프로그램으로 contour map을 작성하여 분석한 쌀 압출성형물의 최적 제조조건은 Table 5와 같다.

Table 5. Optimum conditions for production of rice extrudate

Responses	Variables		
	Moisture (%)	Barrel temp.(°C)	Screw speed(rpm)
Hardness	17	125~130	210~260
Expansion ratio	17	120	210
WSI	17	≥ 130	≥ 260

요 약

단축 압출 성형기를 이용하여 쌀을 원료로 한 스낵을 제조하기 위하여, 반응 표면 분석 방법(response surface methodology : RSM)을 도입하여 제조 조건의 최적화를 시도하였다. 수분함량, 스크류 회전속도, 배럴의 온도를 변수로 하여 전단강도, 팽화율, 수분용해도 지수, 수분흡수지수, 호화도 등의 결과를 RSM 컴퓨터 프로그램에 입력하여 contour map을 적성하여 분석하였다.

쌀 압출 성형물의 최적 제조조건은 수분함량 17%,

배럴의 온도 125°C, 스크류 회전속도 210 rpm으로 추정되었다.

참고문헌

1. 이영춘, 하연철, 복진영, 신동빈, 이경혜 : 쌀의 원료 상태 및 Extrusion Cooking 조건이 Puffed extrudate 특성에 미치는 영향. 한국식품과학회지, 22(1), 105(1990).
2. Mottern, H.H., Spadaro, J.J. and Gallo, A.S. : Cooking extrusion-expansion of rice, *Food Technol.*, 23(3), 169(1969)
3. Juliano, B.O. : *Rice, Chemistry and Technology*, AACC Inc., Minnesota(1972)
4. Spadaro, J.J., Mottern, H. H. and Gallo, A.S. : Extrusion of rice with cotton seed and peanut flours, *Cereal Sci.* 15(8), 238(1971)
5. 한 익, 이상효, 이현유, 김영명, 민병용, 압출성형에 의한 알파미분의 물리화학적 특성, 한국식품과학회지, 20(4), 470(1988)
6. 류기영, 이철호 : 쌀가루의 수분함량과 입자크기에 따른 extrudate의 물성학적 연구, 한국식품과학회지. 20(4), 463(1988)
7. Mercier, P. and Feillet, P. : Modification of carbohydrate components by extrusion cooking of cereal products, *Cereal Chemistry*, 52(3), 283(1975)
8. Molina, M. R., Braham, J. E. and Bressani, R. : Some characteristic of whole corn : whole soybean (70 : 30) and rice : whole soybean (70 : 30) mixture processed by simple extrusion cooking, *J. Food Sci.*, 48(2), 434(1983)
9. 김창근 : Single screw extrusion cooker를 이용한 puffed rice extrudate의 제조, 중앙대학교 대학원 석사학위논문(1991)
10. Anderson, R. A. : Water adsorption and solubility and amylograph characteristics of roll-cooked small grain products, *Cereal Chem.* 59(4), 265(1982)
11. Kamoi, I., Shinozaki, T., Matsumoto, S.,

- Tanimura, W. and Obara, T. : Changes of gelatinization degree and physical properties of stored gelatinized rice after cooking. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, **25**(8), 431 (1978)
12. Peri, C., Barbieri and Casiraghi, E. M. : Physical, chemical and nutritional quality of extruded corn germ flour and milk protein blends. *J. Food Technol.*, **18**, 43(1983)
13. Gomez, M. H. and Agilera, J. M. : A physicochemical model for extrusion of corn starch. *J. Food Sci.*, **48**, 378(1984)
14. Gomez, M. H. and Agilera, J. M. : Changes in the starch fraction during extrusion cooking of corn, *J. Food Sci.*, **48**, 378(1983)
-

(1994년 5월 20일 수리)