

Research Note

반응표면분석법을 이용한 영유아 압출스낵의 현미 대체비율 및 과열증기 처리조건 최적화

고범수 · 박준규 · 이시연 · 이미연¹ · 조은경¹ · 이재권*
경기대학교식품생물공학과, ¹(주)다손

Optimization of Brown Rice Replacement Ratio and Superheated Steam Conditions in Production of Extruded Snacks for Infants Using Response Surface Methodology

Bum-Soo Ko, Jun-Kyu Park, Si-Yeon Lee, Mi-Yeon Lee¹, Eun-Kyoung Jo¹, and Jae-Kwon Lee*

Department of Food Science and Biotechnology, Kyonggi University
¹Dason Food Co. Ltd

Abstract

The optimization of brown rice replacement ratio and superheated steam (SHS) treatment conditions in production of extruded rice snack for infants were conducted using a response surface methodology. Experiments were designed using a Box-Behnken design with three independent variables (brown rice replacement ratio, SHS temperature, and SHS time) and two response variables (hardness and water uptake). The second order polynomial model showed a satisfactory description of the experimental results. Optimal conditions for extruded snack with the lowest predicted hardness (2.84 kg/cm²) were 15.81% of brown rice replacement with SHS treatment at 279.59°C for 197.40 sec. Meanwhile, optimal conditions for extruded snack with the highest predicted water uptake (384.79%) were 17.18% of brown rice replacement ratio with SHS treatment at 274.52°C for 196.22 sec.

Key words: superheated steam, response surface methodology, optimization, extruded snack

서 론

최근 영유아의 성장발달과 식이에 대한 소비자의 관심이 증대되면서 다양한 영유아 스낵제품에 대한 수요가 급증하고 있다. 영유아 곡류스낵은 일반 스낵제품과 달리 영유아 성장발달에 필요한 영양성분을 충분히 함유하여야 하며, 알러지 반응을 일으키는 식품군을 배제하고, 미숙한 영유아의 저작능력에 부합하는 제품물성을 나타내어야 한다 (We et al., 2010). 일반적으로 영유아 스낵의 원료로는 gluten의 반죽 형성능력으로 다양한 유형의 제품개발이 가능한 밀가루가 널리 사용되고 있으나, 최근에는 gluten 단백질의 알러지 유발 및 소화장애(celiac disease)가 보고되면서(Gujral et al., 2003; Moore et al., 2006) 백미 또는 현미가 대체원료로 제안되고 있다. 특히 현미는 다양한 비

타민, 미네랄 및 기능성 유용성분의 함유에 따른 영양학적 우수성으로 영유아 스낵의 원료소재로서 주목 받고 있으나, 현미 bran에 의한 제품의 부적절한 질감, 색상 및 가공적성으로 그 사용이 제한적이다. 또한 영유아 곡류스낵은 원료의 영양학적 특성과 함께 영유아의 저작특성을 고려한 적절한 제품물성이 요구되나, 현재 이에 관한 연구와 개발은 미흡한 실정이다. 이상적인 영유아 스낵의 물성으로는 저작 시 치아뿐만 아니라 혀, 잇몸에 의해서도 쉽게 분쇄되며 침에 의해 삼킬 수 있는 덩어리 상태(food bolus)를 쉽게 형성하는 것이다(Le Reverend et al., 2014). 이와 같은 물성은 영유아 스낵의 경도(hardness), 팽화도, 수분흡수능력 등과 상관성을 가지며, 특히 경도와 수분흡수력은 영유아 저작특성과 가장 밀접한 상관성을 나타내며 영유아 스낵 내부에 형성된 air cell wall의 두께, air cell 크기 및 분포에 따라 영향을 받는다(Lee et al., 2015).

포화증기를 100°C 이상으로 가열하였을 때 생성되는 과열증기(superheated steam)는 기존의 건조, 가열방법에 비해 복사, 대류, 표면응축에 의한 복합 열 전달방식으로 건조효율이 높으며, 가열 시 무산소 상태가 형성되어 산화에 의한 유용성분 및 영양성분의 손실률이 낮은 장점을 가지고

*Corresponding author: Jae-Kwon Lee, Department of Food science and Biotechnology, Kyonggi University, Suwon, Gyeonggi 443-760, Korea
Tel: +82-31-249-9654; Fax: +82-31-249-9650
E-mail: jglee@kyonggi.ac.kr
Received August 29, 2015; revised September 9, 2015; accepted September 10, 2015

있다(Yoshoda & Hyodo, 1966). 이러한 과열증기는 식품의 살균, 가열조리를 비롯한 tortilla chip, 감자 chip, 고구마의 건조 및 가공에 이용되고 있다(Moreira, 2001; Taechapiroj et al., 2006; Wang et al., 2012). 또한 최근에는 과열증기 전처리에 의한 압출스낵의 질감 및 물성개선 효과가 보고되었다(Lee et al., 2015).

본 연구에서는 영유아 저작특성에 부합하는 압출스낵의 물성으로 경도와 수분흡수도를 지표인자로 설정하고, 각 물성의 최적화를 위한 최적 현미 대체비율과 과열증기처리 조건을 반응표면분석으로 검토하여 영유아 압출스낵의 최적 제조조건을 확립하고자 한다.

재료 및 방법

실험재료

본 실험에서는 2013년 경기도 김포에서 생산된 고시히 카리 품종의 도정 백미를 부천소재 대형매장에서 구입하여 사용하였으며, 현미는 한국라이스텍(Andong, Korea)에서 제공받아 실험에 사용하였다.

제조조건 최적화를 위한 실험계획

영유아 압출스낵의 현미 대체비율과 과열증기처리조건 최적화는 3-level-3-factor 실험계획인 Box-Behnken design (Box & Behnken, 1960)을 이용하였다. 독립변수로는 현미 대체비율(X_1 , 0-30%), 과열증기온도(X_2 , 200-300°C) 및 처리시간(X_3 , 120-240초)을 설정하고, 각 독립변수의 수준을 -1, 0, 1의 3단계로 부호화한 15개의 처리조건에 따라 무작위로 3회 반복 실험하였다(Table 1). 종속변수로는 압출스낵의 경도와 수분흡수도를 설정하였으며, 독립변수 X_i 와 X_j 에 대한 종속변수 Y 의 2차 회귀식을 예측하여 반응표면 분석을 실시하였다.

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{j=1}^k \beta_{ij} X_i^2 + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=2}^k \beta_{ij} X_i X_j$$

압출스낵 제조

압출스낵은 수세한 시료를 과열증기발생장치(QF-5100CB-L24H, Naomoto Corp., Osaka, Japan)를 이용하여 설정온도와 시간에 따라 가열 후 단축 압출기(Single Screw Extruder, Dason Food Co., Bucheon, Korea)로 압출하여 제조하였다.

경도 및 수분흡수도 측정

압출스낵의 경도는 Rheometer (Compac-100, Sun Scientific Co., Tokyo, Japan)를 사용하여 3회 반복 측정하였으며, 측정조건은 직경 4 cm의 probe를 이용하여 이동거리 10 mm, 이동속도 1 mm/sec로 하였다. 수분흡수도는 시료 1 g

Table 1. Box-Behnken design for optimization of brown rice replacement and SHS¹⁾ condition

Run	Brown Rice Replacement (%)	SHS Temp. (°C)	SHS Heating Time (s)	Responses ²⁾	
	X_1	X_2	X_3	Y_1	Y_2
1	0(-1)	200(-1)	180(0)	4.42	283.33
2	0(-1)	250(0)	120(-1)	4.47	281.81
3	0(-1)	250(0)	240(1)	3.21	356.35
4	0(-1)	300(1)	180(0)	3.11	363.92
5	15(0)	200(-1)	120(-1)	4.66	264.23
6	15(0)	200(-1)	240(1)	3.98	314.66
7	15(0)	250(0)	180(0)	3.04	371.22
8	15(0)	250(0)	180(0)	3.01	375.48
9	15(0)	250(0)	180(0)	3.05	374.29
10	15(0)	300(1)	120(-1)	3.18	357.21
11	15(0)	300(1)	240(1)	3.07	365.87
12	30(1)	200(-1)	180(0)	3.41	338.87
13	30(1)	250(0)	120(-1)	3.35	346.20
14	30(1)	250(0)	240(1)	3.08	367.56
15	30(1)	300(1)	180(0)	3.27	355.08

¹⁾SHS: superheated steam

²⁾ Y_1 : hardness (Kg/cm²), Y_2 : water uptake (%)

을 상온의 증류수에서 일정 시간 수침 후 과도한 표면 수분을 제거하고 무게를 측정하여 수침 전 시료의 중량 대비 수침 후 무게증가 백분율로 표시하였다(Mariotti et al., 2006).

통계분석

분석결과는 3회 반복 측정하여 평균과 표준편차로 표시하였으며, 처리시료의 유의차는 분산분석(ANOVA)과 Duncan의 multiple range test로 검증하였다($p < 0.05$). 통계분석은 SPSS 통계프로그램(ver 21, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 사용하였으며, 반응표면분석은 Design-Expert software (Ver. 9.01., Stat-Ease Inc., Minneapolis, MN, USA)를 이용하였다.

결과 및 고찰

압출스낵의 경도

압출스낵의 경도를 Box-Behnken design의 15개 실험결과를 통하여 반응표면 분석한 결과를 Table 1에 표시하였다. 반응표면 model식은 결정계수(R^2) 값이 95.8%이며 유의성($p < 0.05$)이 인정되어 압출스낵의 경도변화를 설명하는데 적합하였다. 반응표면 model식을 통하여 압출스낵 경도는 현미 대체비율과 과열증기온도 및 시간에 영향을 받으며, 이들 변수 중 과열증기온도에 의한 영향이 가장 큰 것으로 확인되었다. 또한 반응표면 model식에서 현미 대체비율과 과열증기온도 및 시간의 일차항은 유의성($p < 0.05$)을 가지

며, 각 회귀계수는 음의 값을 나타내어 현미 대체비율과 과열증기 온도 및 시간 증가에 따라 경도는 감소하였다. 반면 반응표면 model식에서 각 독립변수의 상호작용(interaction terms)은 95% 신뢰수준에서 유의하지 않은 것으로 나타났다.

수분흡수도

압출스낵의 수분흡수도를 반응표면 분석한 결과(Table 1), 반응표면 model식의 R^2 값은 97.1%이며 유의성 ($p>0.05$)이 인정되어 압출스낵의 수분흡수도 변화를 설명하는데 적합하였다. 또한 압출스낵의 수분흡수도는 현미 대체비율과 과열증기 온도 및 시간에 영향을 받으며, 이들 변

수 중 과열증기 온도에 의한 영향이 가장 큰 것으로 나타났다. 반응표면 model식에서 일차항의 회귀계수는 양의 값을 나타내어 현미 대체비율과 과열증기 온도 및 시간 증가에 따라 수분흡수도는 증가하는 것으로 예상되었다. 반면 반응표면 model식에서 각 독립변수간의 상호작용(interaction)과 현미 대체비율의 이차항은 영향이 미미하며 유의성을 갖지 않는 것으로 나타났다.

최적 제조조건 예측

영유아 저작특성에 부합하는 압출스낵의 물성으로 경도와 수분흡수도를 지표인자로 설정하고, 각 물성의 최적화를 위한 압출스낵의 제조조건을 3차원 반응표면분석으로

Table 2. Predicted response surface quadratic models for hardness and water uptake of extruded rice snack

Responses	Model	R^2 (%)	Prob>F ²⁾
Y_1 (Hardness)	$Y_1 = 3.033 - 0.26X_1 - 0.48X_2 - 0.29X_3 + 0.29X_1X_2 + 0.25X_1X_3 + 0.14X_2X_3 + 0.16X_1^2 + 0.36X_2^2 + 0.33X_3^2$	95.8 ¹⁾	0.0059
Y_2 (Water uptake)	$Y_2 = 373.66 + 15.29X_1 + 30.12X_2 + 19.37X_3 - 16.10X_1X_2 - 13.30X_1X_3 - 10.44X_2X_3 - 12.94X_1^2 - 25.43X_2^2 - 22.75X_3^2$	97.1	0.0026

¹⁾ R^2 ; determination coefficient.

²⁾ Significant at $p<0.05$

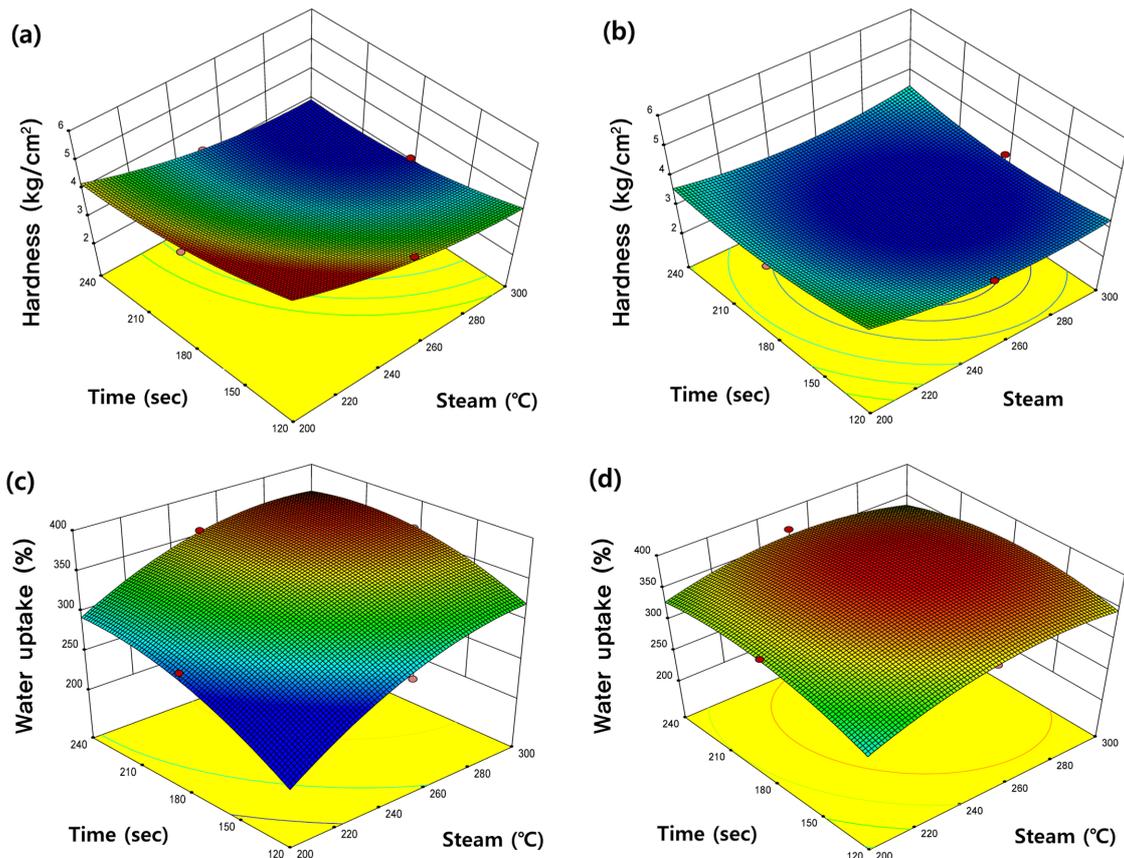


Fig. 1. Response surface plots for hardness and water uptake of extruded snack depending on superheated steam temperature and time at different brown rice replacement. (a) hardness without brown rice replacement; (b) hardness with 30% brown rice replacement; (c) water uptake without brown rice replacement; (d) water uptake with 30% brown rice replacement.

예측하였다. 영유아 압출스낵의 최적 제조조건은 현미 대체비율 0 및 30%에서 과열증기온도와 처리시간을 조합하였을 때의 3차원 반응표면을 이용하여 최소 경도 및 최대 수분흡수도를 갖는 각 독립변수의 예측치로 구하였다(Fig. 1). 압출스낵의 최소 경도는 현미 대체비율 15.81%에서 279.53°C의 과열증기로 197.40초 동안 가열한 처리조건에서 얻어지며 이 조건에서 압출스낵의 경도는 2.84 kg/cm²으로 예측되었다. 또한 압출스낵의 최대 수분흡수도는 현미 대체비율 17.18%에서 274.52°C의 과열증기로 196.22초 동안 가열한 처리조건에서 얻어지며 이 조건에서 수분흡수도는 378.79%로 예측되었다.

요 약

영유아 저작특성에 부합하는 압출스낵의 최적 제조조건 확립을 위하여 Box-Behnken design에 따라 현미 대체비율과 과열증기 처리조건 범위를 설정하고 반응표면분석을 실시하였다. 영유아 압출스낵의 최적 제조조건은 압출스낵의 경도와 수분흡수도를 종속변수로 하여 현미 대체비율, 과열증기온도 및 가열시간을 요인변수로 하는 회귀 model식을 구하고 3차원 반응표면을 분석하여 결정하였다. 압출스낵의 경도와 수분흡수도는 현미 대체비율과 과열증기온도 및 가열시간에 영향을 받으며, 이들 변수 중 과열증기온도에 의한 영향이 가장 큰 것으로 확인되었다. 영유아 압출스낵의 최소 경도는 현미 대체비율 15.81%, 과열증기온도 279.53°C, 가열시간 197.40초의 처리조건에서 2.84 kg/cm²로 예측되었으며, 최대 수분흡수도는 현미 대체비율 17.18%, 과열증기온도 274.52°C, 가열시간 196.22초의 처리조건에서 378.79%로 예측되었다.

감사의 글

본 연구는 농림수산식품부에서 시행한 2014년 고부가가

치식품기술개발사업(과제번호: 113025-2)의 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- Box GEP, Behnken DW. 1960. Some new three level designs for the study of quantitative variables. *Technometrics* 2: 455-475.
- Gujral HS, Guardiola I, Carbonell JV, Rosell CA. 2003. Effect of cyclodextrinase on dough rheology and bread quality from rice flour. *J. Agric. Food Chem.* 51: 3814-3818.
- Le Reverend BJ, Edelson LR, Loret C. 2014. Anatomical, functional, physiological and behavioral aspects of the mastication in early childhood. *Brit. J. Nutr.* 111: 403-414.
- Lee SY, Ko BS, Park JK, Choi EH, Lee MY, Yoo YM, Jo EK, Lee JK. 2015. Effect of superheated steam treatment on physicochemical properties of extruded rice snack. *Food Eng. Prog.* 19: 263-268.
- Mariotti M, Alamprese C, Pagani Ma, Lucisano M. 2006. Effect of puffing on ultrastructure and physical characteristics of cereal grains and flours. *J. Cereal Sci.* 43: 47-56.
- Moore MM, Heinbockel M, Dockery P, Ulmer HM, Arendt EK. 2006. Network formation in gluten-free bread with application of transglutaminase. *Cereal Chem.* 83: 28-36.
- Moreira RG. 2001. Impingement drying of foods using hot air and superheated steam. *J. Food Eng.* 49: 291-295.
- Taechapairoj C, Prachayawarakorn S, Soponronnarit S. 2006. Modelling of parboiled rice in superheated steam fluidized bed. *J. Food Eng.* 76: 411-419.
- Wang TC, Chen BY, Shen YP, Wong JJ, Yang CC, Lin TC. 2012. Influences of superheated steaming and roasting on quality and antioxidant activity of cooked sweet potatoes. *J. Food Sci. Technol.* 47: 1720-1727.
- We GJ, Cho YS, Yoon MR, Shin MS, Ko SH. 2010. Development of rice flour-based puffing snack for early childhood. *Food Eng. Prog.* 14: 322-327.
- Yoshoda T, Hyodo T. 1966. Superheated vapor speeds drying of foods. *J. Food Eng.* 38: 86-87.