

과열증기처리가 압출 쌀스낵의 이화학적 특성에 미치는 영향

이시연 · 고범수 · 박준규 · 최은희 · 이미연¹ · 유영미¹ · 조은경¹ · 이재권*

경기대학교 식품생물공학과, ¹(주)다손

Effect of Superheated Steam Treatment on the Physicochemical Properties of Extruded Rice Snack

Si-Yeon Lee, Bum-Soo Ko, Jun-Kyu Park, Eun-Hee Choi, Mi-Yeon Lee¹,
Young-Mi Yoo¹, Eun-Kyong Jo¹, and Jae-Kwon Lee*

Department of Food Science and Biotechnology, Kyonggi University

¹Dason Food Co. Ltd.

Abstract

This study was carried out to examine the effect of superheated steam (SHS) treatment combined with extrusion process on the physicochemical properties of extruded rice snack. Milled rice grains were heated for 2 min using the SHS at 200°C, 250°C, and 350°C, then processed into extruded rice snacks using a single screw extruder. Bulk density, hardness, water solubility index (WSI), and water uptake capacity of extruded rice snack were significantly influenced by the SHS treatment and temperature of SHS. Increasing SHS temperature resulted in extruded rice snack with a higher expansion, WSI, and water uptake capacity than those of the control snack. Meanwhile, hardness decreased greatly with increasing SHS temperature. The microstructure of extruded rice snack revealed that the sizes and thickness of air cells and air cell walls decreased after SHS treatment with increasing SHS temperature, resulting in better expansion and softer texture. Presumably, the influence of SHS treatment on structural changes was attributed to the increased number of micro-bubbles nucleated in the starch melt during the extrusion process.

Key words: superheated steam, extruded rice snacks, physicochemical properties, extrusion

서 론

우리나라 전체 과자류 시장의 33.1%를 차지하는 스낵시장 규모는 최근 5년간 생산액이 약 50% 상승한 1조 38억 원에 이른다(Food Information Statistics System, 2014). 최근에는 저지방, 저당, 국내산, 유기농 원료를 사용한 건강 지향형 스낵 및 노인, 영유아를 대상으로 한 특수계층용 스낵에 대한 소비자의 수요가 증가하면서, 국내 스낵시장은 더욱 확대될 것으로 기대된다. 그러나 원료의 성분조성을 조절하는 건강지향형 스낵과 달리, 특수계층용 스낵은 대상 계층의 특성에 부합하는 새로운 물성이 요구되나(Le Reverend et al., 2014), 현재 이와 관련된 연구와 정보는 미흡한 실정이다.

스낵과자는 곡류, 서류 등을 사용하여 압출(extrusion),

hot-air puffing, 유탕, 굽기 등의 공정으로 제조한 식품이다. 이 중 압출스낵은 고유의 바삭거리는 질감과 부드럽고 소화되기 쉬운 특성으로 스낵과자 시장에서 높은 비중을 차지하고 있다. 특히 질감은 압출스낵의 품질을 결정하는 중요한 지표인자로서, 일반적으로 제품의 수분함량 및 압출공정에서 팽화(expansion)에 의해 형성되는 다공구조와 밀접한 상관성을 갖고 있다(Pelleg, 1997; Delcour & Hosney, 2010). 압출공정에서 팽화는 전분호화, 상 전이(phase transition), 핵심 생성(nucleation), 압출물 팽창(extrudate swell), 기포 성장(bubble growth) 및 기포 붕괴(bubble collapse)의 단계로 진행되며, 원료의 성분조성 및 구조, 압출공정변수 등에 영향을 받는다(Moraru & Kokini, 2003; Chinnaswamy & Hanna, 1998).

포화수증기를 100°C 이상으로 가열하였을 때 생성되는 과열증기(superheated steam)는 100°C에서 374°C 사이의 수증기로서, 식품의 살균, 건조, 가열조리에 이용되고 있다. 과열증기처리는 기존의 전통적 건조, 가열방법에 비해 식품 유용성분의 산화, 변색 및 영양 손실률이 낮은 장점을 가지며(Yoshoda & Hyodo, 1966), 이에 따라 tortilla chip, 건조감자 chip, 건조고구마, parboiled 쌀 등의 가공분야에

*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 June 27, 2015; revised July 27, 2015; accepted July 29, 2015

서 많은 연구가 보고되었다(Moreira, 2001; Taechapairoj et al., 2006; Wang et al., 2012). 그러나 과열증기처리에 관한 대부분의 연구는 특정 식품을 건조, 가열 시의 변화에 국한되며, 다른 공정과 병행처리 시의 품질특성과 물성개선 가능성에 대한 연구는 진무하다.

따라서 본 연구에서는 과열증기 처리한 백미를 사용하여 제조한 압출스낵의 이화학적 특성 및 미세구조 특성을 조사하여, 과열증기처리가 압출스낵의 물성에 미치는 영향을 규명함으로써 새로운 질감의 부여 및 품질특성의 개선 가능성을 검토하고자 한다.

재료 및 방법

실험재료

본 실험에서는 2013년 경기도 김포지역에서 수확 후 신 김포 농협미곡처리장에서 도정한 고시히카리 품종의 백미를 구입하여 시료로 사용하였다.

압출스낵의 제조

압출스낵은 수세한 백미 약 100 g을 과열수증기 발생장치(QF-5100CB-L-24H, Naomoto Corp., Osaka, Japan)를 이용하여 200, 250 및 350°C의 과열증기로 각각 2분간 가열한 다음 실온에서 방냉 후 압출하여 제조하였다. 압출공정은 다손(주)에서 자체 제작한 단축압출기(single screw extruder, Dason Food Co., Bucheon, Korea)를 사용하여, 회당 약 2 kg의 과열증기처리 백미를 압출기에 투입하여 배럴(barrel) 내부에서 분쇄 후 고온고압으로 호화, 용융되어 토출구(die)에서 팽화하는 방식으로 압출하였으며, 압출기의 최적운전조건은 선행 예비실험을 통하여 설정하였다. 대조구는 과열증기처리하지 않은 백미를 처리구와 동일한 조건으로 압출하여 제조하였다.

압출스낵의 이화학적 특성

압출스낵의 수분함량은 105°C 상압가열건조법(AACC 44-15, 2000), 전분의 호화도는 Megazyme kit (Megazyme, Wicklow, UK)를 이용하여 손상전분(enzyme susceptible starch)의 함량을 측정하는 효소분해법(AACC 76-13, 2000)으로 구하였다. 수분흡수지수(water absorption index, WAI)와 수분용해지수(water solubility index, WSI)는 시료를 Udy cyclone 분쇄기(Cyclotec1093, Udy Co., Fort Collins, CO, USA)를 사용하여 100 mesh 이하로 분쇄 후 Anderson et al. (1969)의 방법에 따라 25, 50, 70°C에서 각각 측정하였다. 압출스낵의 용적밀도는 종자치환법(AACC 44-19, 2000)을 사용하여 구하였으며, 표면색도는 색차계(JC801, Minolta Co., Osaka, Japan)를 이용하여 Hunter 체계에 따라 명도(L), 적색도(a), 황색도(b)의 값으로 나타내었다. 압출스낵의 경도(hardness)는 물성분석기(Texture analyzer,

Model XT Express, Stable Micro System Ltd, Surrey, UK)를 이용하여 측정하였으며, 측정조건은 직경 0.5 cm의 probe를 사용하여 이동거리 6 mm, 이동속도 1 mm/sec로 하였다.

수분흡수력

압출스낵의 수분흡수력은 Marriotti et al. (2006)의 방법을 변형하여, 시료 약 10 g을 실온의 증류수에서 일정시간 수침 후 체에 건져 과도한 표면 수분을 제거한 다음 무게를 측정하여, 수침 전 시료의 중량 대비 수침 후 무게증가 백분율로 표시하였다.

미세구조

압출스낵의 내부 미세구조는 시료를 액체 질소에서 냉동 후 파쇄(freezing fracture)하여 양면 카본테이프에 부착시킨 다음, 전자현미경(Scanning electron microscope, SNE 3000 MB, Sec Co. Ltd., Suwon, Korea)을 사용하여 가속전압 15 kV에서 관찰하였다.

통계분석

분석결과는 3회 반복 측정하여 평균과 표준편차로 표시하였으며, 처리시료의 유의차는 분산분석(ANOVA)과 Duncan의 multiple range test로 검증하였다($p < 0.05$). 통계분석은 SPSS 통계프로그램(SPSS Statistics ver. 21, IBM, Armonk, NY, USA)을 사용하여 수행하였다.

결과 및 고찰

이화학적 특성

과열증기온도에 따른 압출스낵의 수분함량, 용적밀도, 경도, 손상전분 함량 및 색도 측정결과를 Table 1에 표시하였다. 압출스낵의 수분함량은 과열증기처리에 따라 감소하였으며, 처리온도가 높을수록 감소 폭이 증가하여, 350°C 과열증기처리 시료는 대조구 대비 약 60%의 수분감소에 해당하는 $2.7 \pm 0.28\%$ 의 최소 수분함량을 나타내었다. 압출스낵의 용적밀도 또한 과열증기처리에 따라 감소하여, 과열증기처리에 따라 압출스낵의 팽화도가 증가하는 것을 확인하였다. 그러나 과열증기온도에 따른 시료간 용적밀도의 차이는 비교적 미미하여, 과열증기온도가 팽화도에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 판단되었다. 경도는 대조구 0.90 ± 0.07 kg에서 200, 250 및 350°C 과열증기처리에 따라 0.64 ± 0.06 , 0.51 ± 0.04 및 0.34 ± 0.03 kg 순으로 각각 감소하여, 압출스낵의 경도감소는 팽화도에 비례한다는 보고(Badrie & Mellows, 1991)와 같은 양상을 확인하였다. 그러나 과열증기처리에 따른 경도의 감소 정도에 비해 상응하는 각 시료의 팽화도 증가 폭이 크지 않은 점을 고려할 때, 과열증기처리에 의한 경도 감소는 팽화도 보다는 시료

Table 1. Physicochemical properties of extruded rice snack

Sample SHS* Temp. (°C)	Moisture (%)	Bulk density (g/ml)	Hardness (kg)	Damaged starch** (%)*	Color		
					L	a	b
200	6.00±0.23 ^c	0.11±0.02 ^b	0.64±0.06 ^c	81.09±0.04 ^{bc}	92.61±0.00 ^d	4.88±0.04 ^a	18.60±0.02 ^a
250	5.05±0.10 ^b	0.10±0.01 ^{ab}	0.51±0.04 ^b	81.18±0.48 ^c	92.31±0.01 ^c	5.43±0.02 ^b	19.25±0.01 ^b
350	2.71±0.28 ^a	0.09±0.01 ^a	0.34±0.03 ^a	80.44±0.11 ^b	90.96±0.02 ^a	6.11±0.04 ^d	20.63±0.02 ^d
Control	6.66±0.11 ^d	0.14±0.03 ^c	0.90±0.07 ^d	78.1±0.03 ^a	91.67±0.01 ^b	5.48±0.05 ^c	20.15±0.01 ^c

Values (means±SD) within a column followed by different letters are significantly different ($p<0.05$).

*SHS: superheated steam.

**Damaged starch (% , d.b.) = Amount of enzyme susceptible starch/Total starch × 100.

내부의 미세구조 특성에 기인하는 것으로 사료되었다. 압출 스낵의 손상전분함량은 대조구 78.1±0.0%에서 과열증기처리에 따라 약 80-81%로 증가하였으며, 과열증기온도에 따른 시료간 손상전분함량은 유의적으로 차이가 없었다. 이는 과열증기처리과정에서 과열증기온도에 관계없이 시료의 제한된 수분함량과 짧은 처리시간으로 인하여 전분호화가 부분적으로 일어나며, 대부분의 전분호화는 압출과정에서 일어나기 때문이다. 압출스낵의 표면색도 측정결과, 백색도(L), 황색도(b) 및 적색도(a) 측정치는 과열증기온도에 따라 대조구와 유의적 차이를 보였으나, 육안에 의한 시료간의 차이는 분별되지 않았다.

WAI 및 WSI

압출스낵 시료의 측정온도 별 WAI와 WSI 측정결과를 Table 2에 표시하였다. 25°C, 50°C 및 70°C에서 측정된 각 시료의 WAI는 측정온도에 관계없이 유사한 범위의 측정치를 나타내었다. 또한 각 시료의 WAI는 과열증기온도가 높을수록 다소 감소하는 경향을 나타내었으나 유의적으로는 차이가 없었다. 일반적으로 WAI는 호화전분의 흡수성으로 인하여 호화전분함량에 비례하는 밀접한 상관관계를 갖는다(Mariotti et al., 2006). 따라서 과열증기처리 압출스낵의 WAI 측정결과를 통하여 각 시료의 전분호화도는 상호 유사하며, 이러한 결과는 압출스낵의 손상전분함량 측정결과(Table 1)로서도 확인할 수 있었다.

압출스낵의 WSI 측정결과, 모든 시료의 WSI는 측정온도(25, 50, 70°C)가 높을수록 수용성 성분의 용해도 상승

으로 인하여 증가하였다. 또한 시료의 WSI는 과열증기처리에 따라 증가하며, 과열증기온도가 높을수록 증가 정도 또한 상승하였다. 그 결과 350°C 과열증기처리 시료는 70°C에서 대조구 대비 WSI가 약 8% 증가한 51.4±0.04%의 최대 측정치를 나타내었다. 일반적으로 압출물의 WSI는 수용성 성분의 증가 여부를 측정하여 압출과정에서 전분의 저분자화 또는 비전분 다당류의 분해도를 판단하는 지표로 사용된다(Badrie & Mellows, 1991). 따라서 과열증기처리 시료의 WSI 증가는 압출과정에서 전분분자의 depolymerization이 과열증기처리로 인하여 용이해지기 때문으로, 이는 과열증기가 전분과 단백질 matrix 사이의 결합력을 약화시킴에 따라 전분입자가 압출과정의 고온, 고압, 전단력 및 마찰력에 의해 더 쉽게 depolymerization되는 것으로 추정되었다.

수분흡수력

수침시간에 따른 압출스낵의 수분흡수율 측정결과를 Fig. 1에 표시하였다. 모든 시료는 초기 수침단계에서 급속히 수분을 흡수한 후 완만하게 평형상태에 도달하는 수분흡수양상을 나타내어, 수분이 압출스낵의 다공구조에 의해 발생하는 모세관력 작용으로 빠르게 내부로 흡수되는 것을 확인할 수 있었다. 수분흡수율은 모든 수침구간에서 대조구, 200°C, 250°C, 350°C 과열증기처리 시료의 순으로 증가하였으며, 350°C 과열증기처리 시료의 경우 수분흡수율은 대조구 대비 약 200% 증가한 최대수분흡수능력을 나타내었다. 과열증기처리에 의한 압출스낵의 수분흡수율 증가는 용

Table 2. Water absorption index (WAI) and water solubility index (WSI) of extruded rice snack

Sample SHS* Temp. (°C)	WAI (% , d.b.)			WSI (% , d.b.)		
	25°C	50°C	70°C	25°C	50°C	70°C
200	5.89±0.19 ^a	5.62±0.01 ^b	5.64±0.05 ^b	39.23±0.04 ^b	44.00±0.73 ^b	45.58±0.15 ^b
250	5.73±0.25 ^a	5.67±0.18 ^b	5.66±0.01 ^b	41.23±0.92 ^c	46.04±0.75 ^c	47.34±0.36 ^c
350	5.47±0.01 ^a	5.27±0.01 ^a	5.34±0.03 ^a	45.74±0.87 ^d	50.92±1.01 ^d	51.37±0.04 ^d
Control	5.84±0.13 ^a	5.76±0.03 ^b	5.81±0.02 ^c	37.42±0.13 ^a	41.87±0.16 ^a	43.62±0.29 ^a

Values (means±SD) within a column followed by different letters are significantly different ($p<0.05$).

*SHS: superheated steam.

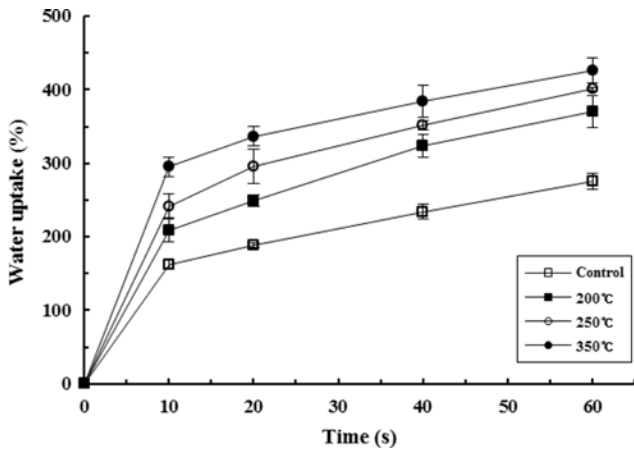


Fig. 1. Water uptake of extruded rice snack heated at different superheated steam temperature.

적밀도 측정실험(Table 1)에서 확인한 압출스낵의 팽화도 증가에 따라 표면적 및 내부용적이 증가하기 때문에 판단된다. 한편 200, 250 및 350°C 과열증기처리 시료는 상호간의 팽화도 차이가 미미함에도 수분흡수율은 처리과열증기의 온도가 높을수록 상대적으로 큰 폭으로 증가하였는데 이는 기공의 크기가 작을수록 스폰지와 같은 다공구조(sponge-like structure)로 인하여 수분흡수율이 증가한다는 Mariotti et al. (2006)의 보고와 같이 압출스낵 내부의 기공 크기, 분포 등과 같은 내부구조 특성의 영향으로 예상되며 이후 전자현미경을 이용하여 내부 미세구조를 확인하였다.

압출스낵의 미세구조

전자현미경으로 관측한 압출스낵의 내부 미세구조와 Image Analyzer로 측정된 기공 막(air cell wall)의 특성을

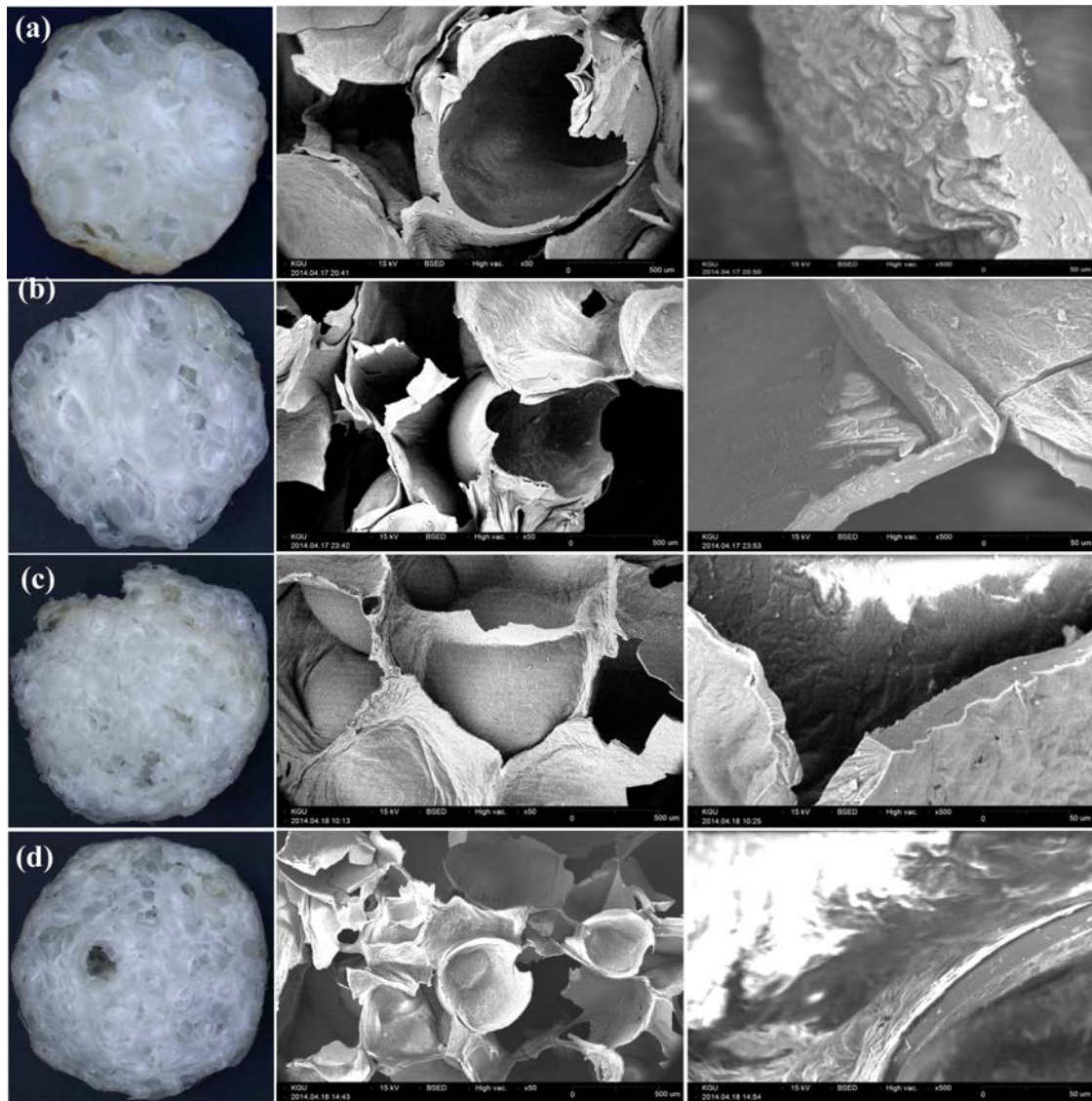


Fig. 2. Stereoscopic images and scanning electron micrographs of extruded rice snack; center (inner microstructure, $\times 50$), right (air cell walls, $\times 500$); (a) control; (b) superheated steam at 200°C; (c) superheated steam at 250°C; and (d) superheated steam at 350°C.

Table 3. Air cell wall thickness of extruded rice snack

Sample	Thickness (μm)
SHS Temp. ($^{\circ}\text{C}$)	
200	25.57 \pm 8.91 ^b
250	19.85 \pm 7.21 ^{ab}
300	14.10 \pm 5.70 ^a
Control	42.26 \pm 19.47 ^c

Values (means \pm SD) within a column followed by different letters are significantly different ($p < 0.05$).

*SHS: superheated steam

Fig. 2와 Table 3에 각각 표시하였다. 예상과 같이 압출스낵 시료는 다양한 크기의 기공(air cell)이 내부에 빈 공간(void)을 이루며, 각 기공은 호화, 용융된 전분분자들이 압출과정에서 팽창하여(expanding) 형성된 기공 막에 둘러 쌓인 전형적인 팽화곡류의 다공구조를 나타내었다. 그러나 시료 내부의 기공 및 기공 막의 특성은 과열증기처리 및 처리온도에 따라 상이하였다. 대조구의 경우 시료 내부에 비교적 큰 크기의 기공이 두께가 약 23-60 μm 범위의 기공 막에 둘러 쌓인 형태를 나타내는 반면 압출스낵 내부의 기공 크기와 기공 막의 두께는 과열증기처리에 따라 감소하였다. 이와 같은 변화는 처리과열증기의 온도가 높을수록 확인하여, 350 $^{\circ}\text{C}$ 과열증기처리 시료의 경우 내부에 가장 작은 크기의 기공과 함께 약 10-20 μm 두께의 가장 얇은 기공 막이 생성되었다. 따라서 과열증기처리에 따른 시료의 팽화도 및 수분흡수력 증가는 내부에 조밀하게 생성된 작은 기공으로 인하여 내부 용적이 증가하고 이에 따른 모세관력의 상승 때문으로 판단되며, 경도 감소는 기공 주위에 생성된 기공 막의 두께가 감소 때문으로 사료되었다. 이와 같은 결과는 압출물에서 다공성이 크고 기공 막이 얇을수록 높은 팽화도와 부드러운 조직감을 가진다는 Badrie & Mellowes (1991)의 연구결과와도 일치하였다.

일반적으로 압출물의 내부 미세구조는 핵심 생성(nucleation)과 기포 성장(bubble growth) 단계로 이루어진 압출과정의 팽화에 의해 결정된다. Kokini et al. (1992)에 의하면 핵심 생성은 압출과정에서 호화, 용융된 가소성의 전분 polymer 내에서 일어나며 전분 hylum이 주 생성 site라고 보고하였다. 또한 기포 성장은 전분 polymer가 압출기 토출구에서 방출 시 내포된 미세 기포의 팽창에 따라 진행되며, 기포주위 전분 polymer의 유동학적 특성에 따라 영향을 받는다고 하였다. 이상의 팽화기작과 과열증기처리 압출스낵의 미세구조 특성을 고려할 때, 과열증기처리는 압출과정에서 기포 성장 보다는 핵심 생성 과정에 작용하여, 압출스낵 내부의 다공성을 증대시키고 얇은 기공 막을 형성하는 것으로 추정되었다. 즉, 선행실험에서 확인한 쌀 내부 배유조직 내의 미세한 균열(stressed cracks and fissures) 생성으로 인하여 보다 많은 공기가 압출과정에 유입됨에

따라 핵심생성이 증가하는 것으로 사료되었다.

요 약

과열증기처리한 백미로 제조한 압출스낵의 물리화학적 특성과 미세구조를 조사하여 과열증기처리 및 과열증기온도(200, 250, 350 $^{\circ}\text{C}$)가 압출스낵의 품질특성에 미치는 영향을 검토하였다. 압출스낵의 이화학적 특성 측정결과, 팽화도는 과열증기처리에 따라 증가하였으나 과열증기온도의 영향은 미미하였다. 압출스낵의 경도는 과열증기처리에 따라, 과열증기온도가 높을수록 감소하였다. 손상전분함량은 과열증기처리에 따라 78.1%에서 80-81%로 다소 증가하였으나 과열증기온도에 따른 손상전분함량의 유의 차는 없었으며, 이로써 과열증기처리가 전분호화에 미치는 영향은 크지 않은 것을 확인하였다. 과열증기처리에 따라 수분흡수지수(WAI)는 유사한 측정치를 나타낸 반면 수분용해지수(WSI)는 비교적 크게 증가하여 과열증기처리가 압출과정에서 전분분자의 저분자화를 증가시키는 것으로 판단되었다. 압출스낵의 수분흡수율은 과열증기처리에 따라 증가하였으며 과열증기온도가 높을수록 수분흡수율은 증가하였다. 압출스낵의 미세구조 관측결과, 압출스낵 내부의 기공 크기와 기공 막 두께는 과열증기처리에 따라 감소하며, 이와 같은 내부구조 변화로 인하여 과열증기처리 압출스낵의 팽화도, 경도 및 수분흡수율 측정결과는 대조구와 상이하였다. 한편 과열증기처리에 따른 압출스낵의 미세구조 변화는 과열증기처리가 쌀의 배유조직 내에 미세한 균열(stress crack)을 발생하고, 미세 균열 내의 공기가 압출과정에 유입되어 보다 많은 핵심이 생성되며, 이로 인하여 다공성이 높아지는 것으로 추정된다.

감사의 글

본 연구는 농림수산식품부에서 시행한 2013년 고부가가치식품기술개발사업(과제번호: 113025-2)의 지원에 의한 연구결과와 일부로 이에 감사 드립니다.

참고문헌

- AACC. 2000. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists (44-15, 76-13, 44-19). St. Paul, MN, USA.
- Anderson RA, Conway HF, Pfeifer VF, Griffin Jr. EL. 1969. Roll and extrusion cooking of grain sorghum grits. Cereal Sci. Today. 14: 372-376.
- Badrie N, Mellowes WA. 1991. Texture and microstructure of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) flour extrudate. J. Food Sci. 56: 1319-1322.
- Chinnaswamy R, Hanna MA. 1998. Optimum extrusion cooking conditions for maximum expansion of corn starch. J. Food Sci. 53: 834-846.

- Delcour JA, Hosene RC. 2010. Principles of cereal science and technology. 3rd ed. AACC International Inc., St. Paul, MN, USA, pp. 246-247.
- Food Information Statistic System. 2014. Snack food market in Korea. Available from: <http://www.aTFIS.or.kr>. Accessed Jun. 17, 2015.
- Kokini JL, Chang CN, Lai LS. 1992. The role of rheological properties on extrudate expansion. In: Food extrusion science and technology. Marcel and Dekker Inc., New York, NY, USA, pp. 631-653.
- 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.
- 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.
- Moraru CI, Kokini JL. 2003. Nucleation and expansion during extrusion and microwave heating of cereal foods. *Compr. Rev. Food Sci. F.* 2: 147-165.
- Moreira RG. 2001. Impingement drying of foods using hot air and superheated steam. *J. Food Eng.* 49: 291-295.
- Pelleg M. 1997. Review: mechanical properties of dry cellular solid foods. *Food Sci. Technol. Int.* 3: 227-240.
- Taechapiroj 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.
- Yoshoda T, Hyodo T. 1966. Superheated vapor speeds drying of foods. *J. Food Eng.* 38: 86-87.