J Korean Soc Food Sci Nutr
43(9), 1407~1414(2014)

한국식품영양과학회지
http://dx.doi.org/10.3746/jkfn.2014.43.9.1407

Extrusion 제조 조건에 따른 쌀 스낵 제품의 이화학적 품질특성

은종방[1] · Fu-hung Hsieh[2] · 최옥자[3]

[1]전남대학교 식품공학과
[2]Department of Biological Engineering/Food Science, University of Missouri-Columbia
[3]순천대학교 조리과학과

Physicochemical Properties of Rice-based Expanded Snacks according to Extrusion Conditions

Jong-Bang Eun[1], Fu-hung Hsieh[2], and Ok-Ja Choi[3]

[1]Department of Food Science & Technology, Chonnamn National University
[2]Department of Biological Engineering/Food Science, University of Missouri-Columbia
[3]Department of Food & Cooking Science, Sunchon National University

ABSTRACT Physicochemical properties of rice-based expanded snacks extruded with rice flour, high amylose starch, and isolated soy protein were investigated using a twin-screw extruder. The ingredients were extruded at various feed moisture contents (19~23%) and screw speeds (200~400 rpm) at a constant feed rate (43.4 kg/hr). Bulk density and apparent density of rice snacks were 0.06~0.21, and 0.55~0.65 respectively. Bulk density, apparent density, water absorption index, and breaking strength of rice snacks increased with increasing feed moisture content and decreasing screw speed. However, expansion and water solubility index of rice snacks increased with decreasing feed moisture content and increasing screw speed. Hunter's color L values of rice snacks was lower with increasing screw speed at feed moisture contents of 19% and 21%, but was not significantly different from a feed moisture content of 23%. On the other hand, a and b values of rice snacks were higher with increasing screw speed a feed moisture content of 19%. X-ray diffraction intensity of rice snacks decreased with decreasing feed moisture content and increasing screw speed. X-ray diffraction of rice snacks was V-type at feed moisture contents of 19% and 21% and screw speeds of 300, and 400 rpm. In the microstructure of the cross section of rice snacks, air cells in rice snacks were not well formed, and cell walls were thicker with increasing feed moisture content and decreasing screw speed.

Key words: rice snacks, extrusion processing conditions, rice flour, high amylose starch, isolated soy protein

서 론

쌀은 우리나라의 중요한 식량자원으로 식생활에서 차지하고 있는 비중이 매우 크며, 시절음식 및 의례음식의 주재료로서 우리의 식문화 형성에 큰 역할을 해왔다(1). 최근 간편하고 편의 위주의 식생활 선호로 인하여 밀가루를 이용한 빵, 국수, 과자류의 소비가 증가되어 밀가루의 소비량은 점점 증가한 반면, 국민 1인당 연간 쌀 소비량은 2013년 기준 67.2 kg으로 계속 감소 추세에 있다(2,3). 더구나 쌀 시장 개방과 재고미의 비축으로 쌀 저장 공간 부족뿐만 아니라 저장에 따른 쌀 품질의 저하로 쌀 소비 촉진을 위한 방안이 지속적으로 필요한 실정이다. 전통적으로 제조해온 우리나라의 쌀 가공식품들은 대부분 제조 방법이 복잡하고 수작업으로 제조되기 때문에 제조과정 및 조건에 따라 품질에 많은 영향을 받게 된다(4). 따라서 쌀 가공식품을 대중화하기 위해서는 간편한 제조공정, 이에 따른 기술 개발과 더불어 품질이 일정한 제품을 대량 생산할 수 있는 방법이 필요하다고 하겠다. Extruder에 의한 식품의 압출성형은 옥수수와 쌀 등의 곡류, 두류, 단백질 등 여러 가지 원료를 혼합하여 feed 수분함량, feed rate, screw speed, die 크기 및 배럴온도 등에 따라 다양한 형태와 질감의 제품을 대량 제조할 수 있기 때문에 현재 식품산업에 많이 이용되고 있다(5-9). 그동안 연구된 곡류를 이용한 압출성형에 대한 국내 연구로는 두유박과 옥분 혼합물 압출성형 제조공정의 최적화(10), 수분함량에 따른 곡류 압출물의 물리적 특성 비교(11), 율무와 밀가루의 압출성형(12), 오징어 첨가 곡류스낵 식품(13), 쌀, 대두단백, 쥐치어의 압출성형(14), 비유탕 유과의 품질특성 및 저장성(15), 보리 파쇄립을 이용한 후레이크 제조(16), 고아미 후레이크 제조(5) 등에 대한 연구가 보고되었고, 국외 연구로는 밀전분, 통밀, 오트밀 가루의 압출성형

Received 23 May 2014; Accepted 23 June 2014
Corresponding author: Ok-Ja Choi, Department of Food & Cooking Science, Sunchon National University, Suncheon, Jeonnam 540-742, Korea
E-mail: coj@sunchon.ac.kr, Phone: +82-61-750-3692

(6), 생선과 쌀가루의 압출성형(8), 쌀가루와 아마란스 혼합물의 압출성형(17)을 비롯하여 보리(9), 쌀(18-20), 밀(21), 옥수수(22-25) 등을 대상으로 압출성형에 대한 연구가 많이 보고되었다. 대부분의 연구는 제품의 품질을 향상시키기 위하여 수분함량, screw 속도, feed rate 등의 압출성형 조건과 혼합곡류의 종류, 비율 등을 다양하게 하여 여러 가지 연구가 진행되고 있다,

한편 고아밀로오스 전분은 전분의 4가지 유형 중 type 2에 속하는 저항전분으로 α-amylase에 대한 저항성이 있기 때문에 소장에서는 소화되지 않고 대장으로 이동된 후 발효되므로 식이섬유와 유사한 효과가 있다(26). 일반적으로 저항전분을 섭취하였을 때 나타나는 생리적 효과는 변부피의 증가, 대장 내 pH의 저하, 분변을 통한 담즙산의 배설 증가, 혈당 감소, 콜레스테롤 및 중성지방 감소, 대장암 예방 등의 효과가 있다고 보고되어 있다(27,28). 기능성식품의 소재인 식이섬유를 제품에 첨가한 경우 제품의 색깔이 짙어지고 질감이 거칠어질 뿐만 아니라 섭취 시 무기질 흡수가 저하되는 반면, 저항전분은 식품에 첨가되었을 때 맛이나 texture의 변화가 거의 없고 식이섬유의 과다섭취로 인하여 나타날 수 있는 무기질의 흡수 저하가 나타나지 않으므로 식품첨가물로서 식품 내 식이섬유를 증가시키는 방법으로 저항전분의 사용이 점점 증가되고 있는 추세이다(26-29). 본 연구는 전보(30)에 이어 쌀 과자류의 품질을 향상시키기 위한 방법의 일환으로 쌀가루, 고아밀로오스 전분 및 분리대두단백을 이용하여 extruder의 수분함량과 screw 속도에 따라 쌀 스낵을 각각 제조한 후 expansion, breaking strength 등 여러 가지 품질특성을 비교 분석하여 쌀 스낵의 품질 개선 효과를 보고자 하였다.

재료 및 방법

재료

쌀 스낵 제조에 사용된 재료는 쌀가루(RM-100 RIV LAND, Huston, TX, USA), 72% 고아밀로오스 전분(National Starch and Chemical Company, Bridgewater, NJ, USA), 분리대두단백(isolated soy protein 066-974, Pro Fam 974, ADM Protein Specialties Division, Decatur, IL, USA), 설탕(Confections powdered, C&H Sugarcompany, Inc., Crockett, CA, USA), 소금(Morton salt, Morton International, Inc., Chicago, IL, USA)이다.

쌀 스낵의 제조

쌀 스낵 재료의 혼합비율은 예비실험을 통하여 쌀가루 50%, 고아밀로오스 전분 40%, 분리대두단백 5%, 설탕 3.5%, 소금 1.5% 비율로 혼합하여 믹서(Double Action Mixer; Model 100 DA70, Leland Southwest, Fort Worth, TX, USA)로 1시간 동안 혼합하였다. 쌀 스낵의 제조는 extruder (MPF-50/25, APV Baker, Twin Screw Food Extruder, Grand Rapids, MI, USA)를 이용하여 제조한 후 65±1°C 건조기에서 7분 건조한 다음 실온에서 15분 동안 풍건하여 수분함량이 약 10% 내외가 되도록 하여 밀봉한 후 시료로 사용하였다.

Extrusion 조건

압출성형실험은 extruder를 이용하여 길이와 직경비율을 25:1로 하였고, Die 크기 50 mm, 온도는 6개 barrel zone으로 26.7, 26.7, 51.7, 93.3, 121.1, 121.1°C에서 실험하였다. Feed moisture content는 19~23%, screw speed는 200~400 rpm으로 하였고, feed rate는 43.6 kg/hr을 유지하였다. 모든 barrel과 제품 온도, die 압력, die 온도, % torque, screw speed, feed rate는 MACS PL-1000 data acquisition system(Elexor Associates, Morris Plains, NJ, USA)과 IBM PC-AT/XT compatible computer(Northgate, Plymouth, MN, USA)로 자동통제 하였다.

Bulk density, apparent density 및 porosity 측정

Bulk density는 쌀 스낵의 무게를 측정한 다음 종자치환법(31)으로 부피를 측정하여 무게를 부피로 나누어 나타냈다. Apparent density(p_s)는 시료 30개를 믹서(Commercial Blender, Model 51BL31, Waring Commercial, Torrington, CT, USA)로 2분간 고속으로 마쇄한 후 40 mesh로 하여 실린더로 실부피를 측정하였으며 무게를 실부피로 나누어 나타냈다(22,32). Porosity는 쌀 스낵의 bulk 부피와 실부피를 다음과 같이 계산하여 나타냈으며(32) 모두 6회 반복실험 하였다.

$$\text{Porosity} = \frac{\text{Bulk volume} - \text{Apparent volume}}{\text{Bulk volume}}$$

Radial expansion 및 longitudinal expansion 측정

쌀 스낵의 길이와 직경은 Caliper(No. CD-6"C, Mitutoyo Co., Kawasaki, Japan)를 이용하여 시료 50개를 각각 측정하여 평균값을 구하였고 radial expansion은 시료 단면의 면적을 die 면적으로 나누어 나타냈으며$(R_p/R_d)^2$ longitudinal expansion은 길이를 무게로 나누어 나타냈다(33,34).

Water absorption index(WAI) 및 water solubility index (WSI)

WAI 및 WSI는 AACC 방법(35,36)에 따라 실험하였다. 40 mesh로 마쇄한 시료 2.0 g을 40 mL 둥근 원심관에 넣고 20 mL의 증류수를 가한 다음 voltex로 1분 혼합한 후 25°C 진탕 수욕조에서 30분 교반한 다음 원심분리기(Model J2-21M/E centrifuge, Beckman Instruments, Palo Alto, CA, USA)로 1,000×g에서 15분 동안 원심분리 하였다. 상등액을 증발접시에 따른 후 침전물의 무게를 측정하였다. 증발접시에 따른 상등액은 105°C 오븐(OGS 100, Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, MA, USA)에서 24시간 건조하여

방냉한 후 무게를 측정하였고 다음 식에 의하여 계산하였다.

WAI (g/g)=(Weight of sediment+Tube−Weight of tube)/ Sample dry weight

WSI (%)=[(Weight of container+dried supernatant−Weight of container)/ Sample dry weight]×100

색도 측정

색도는 쌀 스낵을 믹서로 마쇄한 후 40 mesh로 한 다음 색차계(Chroma Meter CR-410, Konica Minolta Sensing Inc., Osaka, Japan)를 이용하여 L(백색도), a(적색도), b(황색도) 값을 5회 반복 측정하여 평균값을 구하였다.

단면 측정

쌀 스낵의 단면은 Video microscope system(Ics-305B, Sometech Co., Seoul, Korean)을 이용하여 쌀 스낵의 단면을 절단한 후 40배 확대하여 관찰하였다.

X-선 회절도 분석

쌀 스낵의 X-선 회절도는 X-ray diffractometer(Rigaku Co., Tokyo, Japan)를 사용하여 target: Cu-K_α, filter: Ni, voltage: 35 kV, current: 15 mA, time constant: 1 sec, F.S.R: 1×10^3 cps 조건으로 회절각도(2Θ) 4°~40°까지 회절시켜 분석하였다.

Texture analyser에 의한 breaking strength 측정

쌀 스낵의 breaking strength는 Texture Analyser(TA-HDi Texture Technologies Co., Scarsdale, NY, USA)를 사용하여 측정하였다. 기기의 측정 조건은 test type: measure force in tension, test speed: 1.0 mm/sec, distance: 25 mm, road cell: 50 kg, calibrate probe: Warner-Bratzler shear blade로 하였다(36). Breaking strength는 Warner-Bratzler shear blade로 쌀 스낵의 중앙을 자른 후 나타난 최대 shear force를 쌀 스낵 단면 면적으로 나누어 계산하였으며 10회 반복실험 하였다.

통계처리

본 연구의 실험 결과는 SPSS(Statistics Package for the Social Science, Ver. 12.1 for Window, New York, NY, USA) 프로그램을 이용하여 통계처리 하여 분석하였다. 분석방법으로는 평균, 표준편차 및 분산분석 등을 실시했으며, Duncan's multiple range test를 사용하였다.

결과 및 고찰

Bulk density, apparent density 및 porosity

쌀가루, 고아밀로오스 전분, 분리대두단백, 설탕 및 소금을 첨가하여 extruder로 제조한 쌀 스낵의 bulk density, apparent density 및 porosity는 Table 1과 같다. 쌀 스낵의 bulk density는 feed 수분함량 19%, screw 속도가 400 rpm일 때 0.06으로 가장 낮았고, feed 수분함량 23%, 200 rpm일 때 0.21로 가장 높게 나타났다. 쌀 스낵의 apparent density는 0.55~0.68 정도로 나타났고, bulk density와 마찬가지로 feed 수분함량이 많을수록, screw 속도가 증가할수록 낮아지는 경향을 보였다. Bulk density가 높으면 팽화율은 낮아지는데 압출성형 시 재료의 밀도가 높을수록 팽화가 덜 되기 때문이다(32). Ding 등(21)은 밀가루를 압출성형하였을 때 feed 수분함량이 많을수록 bulk density는 증가하였고, screw 속도 증가 시 bulk density는 감소되었다고 하였는데 본 실험 결과와 같은 경향이었다. 압출성형 시 feed 수분함량은 밀도와 팽화율에 큰 영향을 미치는데 feed 수분함량이 증가하면 반죽의 탄성이 감소하게 되어 bulk density는 높아지게 되는 반면, screw 속도가 증가하면 용해 점도가 낮아져 bulk density는 낮아지기 때문이다(18,21). 이러한 결과는 여러 연구자들에 의해서도 보고되었다(17,19,37).

쌀 스낵의 porosity는 0.69~0.88로 나타났고, feed 수분

Table 1. Density, porosity and expansion of rice snacks[1)]

Samples		Bulk density (g/cm^3)	Apparent density (g/cm^3)	Porosity	Radial expansion ratio	Longitudinal expansion (mm/g)
Feed moisture content (%)	Screw speed (rpm)					
19	200	0.11±0.00^{e}[2)3)]	0.66±0.01^{a}	0.84±0.00^{d}	9.87±0.32^{c}	5.00±0.09^{d}
	300	0.07±0.00^{g}	0.55±0.03^{d}	0.87±0.01^{b}	12.14±0.33^{b}	5.72±0.29^{c}
	400	0.06±0.00^{h}	0.55±0.02^{d}	0.88±0.00^{a}	13.84±0.49^{a}	6.38±0.16^{a}
21	200	0.16±0.00^{b}	0.67±0.01^{a}	0.76±0.00^{g}	6.88±0.13^{fg}	4.46±0.06^{e}
	300	0.11±0.00^{e}	0.61±0.01^{b}	0.82±0.01^{e}	8.24±0.22^{e}	5.12±0.01^{d}
	400	0.09±0.00^{f}	0.59±0.01^{c}	0.85±0.00^{c}	9.36±0.14^{d}	5.96±0.07^{b}
23	200	0.21±0.01^{a}	0.68±0.01^{a}	0.69±0.02^{h}	5.89±0.08^{h}	4.24±0.04^{f}
	300	0.15±0.00^{c}	0.63±0.01^{b}	0.76±0.00^{g}	6.62±0.44^{g}	5.07±0.05^{d}
	400	0.12±0.01^{d}	0.61±0.02^{b}	0.80±0.01^{f}	7.10±0.07^{f}	5.76±0.34^{c}

[1)]Per piece.
[2)]All values are mean±SD (bulk density, apparent density and porosity n=6, radial expansion ratio and longitudinal expansion n=50).
[3)]The different letters within a column are significantly different at $P<0.05$.

함량이 많을수록 porosity는 감소되었으며 screw 속도가 증가할수록 유의적으로 증가되어 bulk density와는 반대의 결과를 나타냈다. 압출성형 과정에서 생성되는 porosity는 팽화 정도를 나타내는 것으로 알려져 있다(23,24). Yağcı과 Göğüş(32)는 드럼 밀에 탈지한 해즐넛 가루 등을 넣고 feed 수분함량 12~18%, screw 속도 200~280 rpm으로 압출성형 하였을 때 porosity 값은 bulk density와 역의 관계를 나타냈다고 하였고, Cisneros와 Kokini(38)도 screw 속도가 증가하면 기공수의 수가 증가한다고 하여 본 실험 결과와 같은 경향을 나타냈다.

Radial expansion ratio 및 longitudial expansion

쌀 스낵의 직경 팽화율은 Table 1에서 보는 바와 같이 5.89~13.84로 나타났고 길이 팽화는 4.24~6.38로 각각 나타났다. 직경 팽화율이 길이 팽화보다 더 높게 나타났고, 직경 팽화율과 길이의 팽화는 feed 수분함량이 낮을수록, screw 속도가 빠를수록 높게 나타났으며, 직경 팽화율과 길이 팽화는 bulk density 결과와 반대의 경향을 보였다. 압출성형 시 팽화는 bulk density와 음의 관계가 있으며(39, 40) bulk density는 길이 팽화와 높은 관련성이 있다고 하였는데(41,42), 본 연구에서는 bulk density는 길이 팽화뿐만 아니라 직경의 팽화율과도 관련성이 크게 나타났다. 따라서 쌀가루, 고아밀로오스 전분, 분리대두단백으로 쌀 스낵을 제조할 경우 쌀 스낵의 직경 팽화율과 길이의 팽화를 높이기 위해서는 feed 수분함량은 낮게, screw 속도는 빠르게 설정하는 것이 바람직하다고 생각된다.

WAI 및 WSI

쌀 스낵의 수분흡수지수(WAI)와 수분용해지수(WSI)는 Table 2와 같다. 쌀 스낵의 WAI는 feed 수분함량 19%에서 3.58~3.92, 21%에서는 4.03~4.18, 23%에서는 4.25~4.58을 각각 나타내 feed 수분함량이 많을수록 WAI는 유의적으로 증가되었다. 19% 수분함량에서 screw 속도 200, 300 및 400 rpm일 때 WAI는 3.92, 3.71 및 3.58로 각각 나타나 screw 속도가 빠를수록 WAI는 감소하였고, feed 수분함량 21%와 23%에서도 같은 경향을 나타냈다. 쌀가루를 주재료로 하여 압출성형 하였을 때 feed 수분함량이 증가할수록 WAI는 증가하였다고 하였고(20), 밀가루와 옥수수전분에서도 같은 경향을 나타냈다고 하였으며(43), 옥수수가루를 주재료 한 스낵에서는 screw 속도 증가 시 WAI가 증가하였다고 하여(42) 본 연구 결과와 같은 경향을 나타냈다. Jin 등(36)은 screw 속도가 낮은 경우 전분의 손상이 적어 친수성기의 이용으로 인하여 물 분자와 더 많이 결합하기 때문에 수분흡수지수는 증가한다고 하였다.

쌀 스낵의 WSI는 feed 수분함량 19%에서는 20.62~27.81%, 21%에서는 16.70~22.35%, 23%에서는 13.14~21.05%로 각각 나타나 feed 수분함량이 많을수록 유의적으로 감소하였다. Feed 수분함량 19%, screw 속도 200, 300 및 400 rpm에서 WSI는 각각 20.62%, 23.72%, 27.81%로 나타나 screw 속도가 증가될수록 WSI는 유의적으로 증가하였고, feed 수분함량 21%, 23%에서도 같은 경향을 나타냈다. 밀가루와 옥수수전분을 압출성형 한 연구에서 feed 수분함량이 낮을수록, screw 속도가 높을수록 WSI는 증가되었다고 하였는데(43) 본 연구 결과와 같은 경향이었다. Wen 등(44)은 screw 속도는 다당류의 크기 분포에 직접 영향을 미친다고 하였으며, screw 속도가 증가되면 속도가 낮을 때보다 더 많은 파편이 생성되어 용해도가 증가한다고 하였다. 따라서 WSI는 전분으로부터 용해된 분자의 양과 관계가 있기 때문에 screw 속도 증가 시 WSI가 증가되는 것은 손상된 전분의 양이 많아지기 때문이라고 할 수 있다. 이와 같이 곡류를 압출성형 할 때 feed 수분함량과 screw 속도는 WAI 및 WSI와 밀접한 관계가 있으므로 압출성형 제품의 용도 및 선호도에 따라 feed 수분함량과 screw 속도를 조절할 필요가 있다고 생각된다.

Texturometer에 의한 breaking strength

쌀 스낵의 breaking strength는 Table 2와 같다. Breaking strength는 쌀 스낵을 texture analyser로 측정했을 때 나타난 최대 힘을 쌀 스낵의 단면적으로 나눈 값이다. Feed 수분함량 19%, screw 속도 400 rpm에서 16.32로 가장 낮

Table 2. Water absorption index (WAI), water solubility index (WSI), and breaking strength of rice snacks

Samples		WAI	WSI (%)	Breaking strength (g/mm^2)
Feed moisture content (%)	Screw speed (rpm)			
19	200	3.92±0.04$^{g1)2)}$	20.62±0.02^{d}	28.51±0.23^{f}
	300	3.71±0.05^{h}	23.72±0.95^{b}	19.57±0.34^{h}
	400	3.58±0.03^{i}	27.81±0.65^{a}	16.32±1.12^{i}
21	200	4.18±0.04^{d}	16.70±0.43^{e}	41.60±0.75^{c}
	300	4.12±0.04^{e}	20.46±0.33^{d}	31.63±0.65^{e}
	400	4.03±0.02^{f}	22.35±0.05^{c}	24.41±1.16^{g}
23	200	4.58±0.03^{a}	13.14±0.44^{g}	49.51±0.90^{a}
	300	4.41±0.04^{b}	15.23±0.24^{f}	47.53±1.40^{b}
	400	4.25±0.05^{c}	21.05±0.55^{d}	38.52±0.94^{d}

[1)]All values are mean±SD (WAI and WSI n=5, breaking strength n=10).
[2)]The different letters within a column are significantly different at $P<0.05$.

게 나타났고, feed 수분함량 23%, screw 속도 200 rpm에서 49.51로 가장 높게 나타났다. Breaking strength는 feed 수분함량이 증가함에 따라 증가하였고 screw 속도가 증가함에 따라 유의적으로 감소하는 특징을 보였다. 쌀을 주재료로 하여 압출성형 한 연구에서 feed 수분함량이 증가함에 따라 경도가 증가하였다고 하였고(18), chickpea 가루를 주재료로 하여 제조한 스낵에서는 screw 속도가 증가하였을 때 경도가 감소하였다고 보고하여(45) 본 실험 결과와 같은 경향이었다. Ding 등(21)은 압출성형 과정에서 가소제로 작용하는 물은 전분의 점도를 감소시키고 기계적 에너지 손실을 가져와 기공의 생성을 억제하므로 feed 수분함량이 증가하면 경도는 증가하고 전분의 호화와 팽화율은 감소하며, screw 속도가 증가하게 되면 반죽의 탄성을 증가시키는 용해점도가 낮아지기 때문에 밀도가 낮아져 제품이 더 부드러워진다고 하였다. 전보(30)에서 feed 수분함량 17%, screw 속도 400 rpm, feed rate 43.6 kg/hr 조건에서 찹쌀가루, 쌀가루, 탈지콩가루를 넣어 제조한 유과바탕의 breaking strength 23.21보다 feed 수분함량 19%, screw 속도 400 rpm에서 쌀가루, 고아밀로오스 전분, 분리대두단백으로 제조한 쌀 스낵의 breaking strength는 16.32로 feed 수분함량이 더 많았음에도 불구하고 더 낮게 나타나 딱딱한 질감을 나타내는 쌀 과자류의 단점을 보완할 수 있어 쌀을 이용한 스낵의 혼합 재료로 더 우수하다고 판단된다.

색도 특성

쌀 스낵의 색도 특성은 Table 3과 같다. 쌀 스낵의 색도 중 L값은 feed 수분함량이 19%, 21%, screw 속도 200 rpm에서 각각 81.88, 81.94로 유의적으로 가장 높게 나타났으며, screw 속도 400 rpm에서는 feed 수분함량이 증가함에 따라 L값이 증가하였다. Feed 수분함량 19%, 21%에서는 screw 속도가 증가할수록 L값은 감소하였으나, feed 수분함량 23%에서는 screw 속도에 따른 유의적인 차이는 없었다. a, b값은 feed 수분함량 19%에서는 screw 속도가 증가함에 따라 증가한 반면, feed 수분함량 21%와 23%에서는 screw 속도가 증가함에 따라 감소하였다. 장립의 고아밀로오스 쌀을 압출성형 한 연구에서는 feed 수분함량이 증가할수록 L값은 증가하고 a값은 감소하였다고 하였고(20), whole cotton seed를 압출성형 한 경우에는 screw 속도가 75 rpm로 낮은 조건에서는 갈변반응이 덜 일어나기 때문에 L값이 유의적으로 높았다고 하였다(46). 그러나 본 실험에서는 screw 속도 400 rpm에서만 feed 수분함량이 증가함에 따라 L값이 증가하였고, screw 속도 200 rpm에서만 feed 수분함량이 증가함에 따라 a, b값이 감소하여 다소 차이가 있었다. 이와 같은 결과는 혼합 재료의 종류 및 비율, feed 수분함량, screw 속도, 배럴온도 등에 따른 차이라고 생각된다. 쌀 스낵의 경우 Table 1에서 보는 바와 같이 팽화율이 가장 높게 나타난 feed 수분함량 19%, screw 속도 400 rpm 조건에서 L, a, b값은 각각 76.47, 1.47, 12.77이었고, 팽화율이 가장 낮게 나타난 feed 수분함량 23%, screw 속도 200 rpm 조건에서 L, a, b값은 각각 79.59, 0.48, 13.59로 팽화율이 높은 경우 L값은 낮고, a값은 높은 경향을 나타냈다.

X-선 회절도 분석

쌀 스낵의 x-ray 회절도는 Fig. 1과 같다. Feed 수분함량 19%~23%, screw 속도 200 rpm의 경우 amylose-lipid complex의 특징을 나타내는 20.3°에서 peak가 나타났으나(47) screw 속도 300 및 400 rpm에서는 나타나지 않았다. Feed 수분함량 19%, 21%, screw 속도 200 rpm에서는 B 도형의 특징을 나타냈고, 300 및 400 rpm에서는 V 도형의 특징을 나타냈다. Feed 수분함량 23%, screw 속도 200 rpm에서는 1환(6.8°)이 없고 4a(18.3°), 4b(19.8°)환이 뚜렷한 A 도형에 가까운 B 도형의 회절도를 보인 반면, screw 속도 300 및 400 rpm의 경우 1환(6.8°)과 4a(18.3°)환이 뚜렷한 B 도형을 나타냈다. Feed 수분함량이 많을수록 결정성을 나타내는 회절강도가 강하게 나타났다. Thuwall 등(48)은 고아밀로오스 감자전분을 압출성형 하였을 때 B 도형을 나타냈다고 하였고, x-ray 결정성과 수분함량 사이는 일정한 관계가 있다고 하였다. Ainsworth 등(42)은 screw 속도가 증가하면 shear effect가 증가되어 전분의 기계적인

Table 3. Hunter's color value of rice snacks

Samples		L	a	b
Feed moisture content (%)	Screw speed (rpm)			
19	200	81.88±0.59[a1)2)]	0.32±0.06[e]	11.98±0.39[cd]
	300	78.46±0.96[d]	0.45±0.07[bc]	12.34±0.33[c]
	400	76.47±0.72[e]	1.47±0.01[a]	12.77±0.32[b]
21	200	81.94±0.49[a]	0.33±0.05[de]	12.88±0.24[b]
	300	80.55±0.56[b]	0.28±0.05[e]	12.74±0.31[b]
	400	79.15±0.30[cd]	0.28±0.03[e]	11.66±0.11[de]
23	200	79.59±0.71[bc]	0.48±0.02[b]	13.59±0.16[a]
	300	79.89±0.53[bc]	0.40±0.03[cd]	12.22±0.18[c]
	400	79.73±1.06[bc]	0.26±0.02[e]	11.33±0.42[e]

[1)]All values are mean±SD (n=5).
[2)]The different letters within a column are significantly different at $P<0.05$.

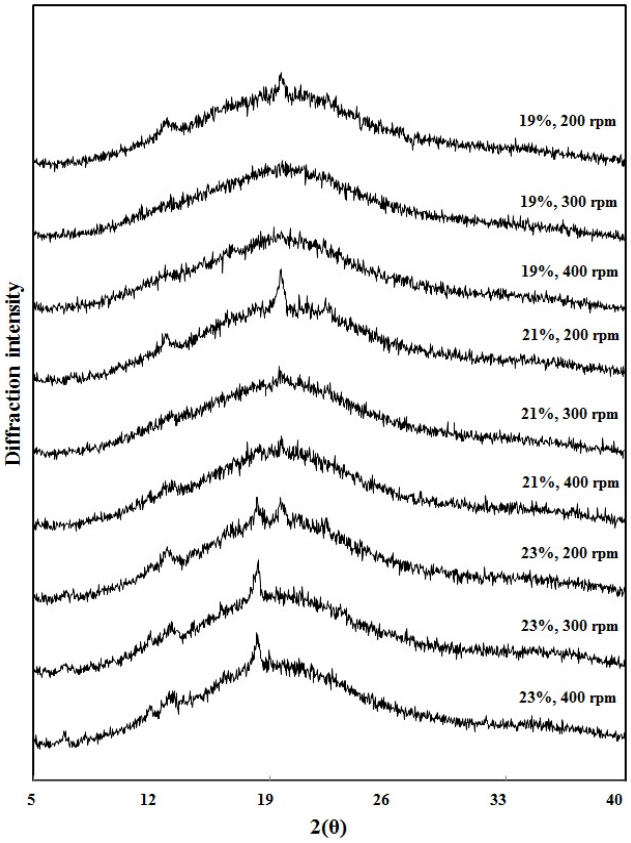


Fig. 1. x-ray diffraction of rice snacks.

붕괴가 증가하며 수용성 재료의 양이 증가하여 호화가 잘 된다고 하였다. 따라서 Fig. 1의 회절강도에서 보는 바와 같이 압출성형 시 feed 수분함량이 낮을수록, screw 속도가 높을수록 호화가 잘 되어 V 도형을 나타낸다고 할 수 있다. 위의 결과는 Table 2의 WSI의 결과와 같은 경향을 나타냈다.

단면 구조

쌀 스낵의 단면을 40배로 확대하여 관찰한 내부 구조는 Fig. 2와 같다. Extruder 가공 시 생성되는 기공은 점도에 의하여 저항하는 공기압력과 기공 안쪽에서 성장하는 기공 사이의 압력 차에 의하여 나타난다(21,49). 쌀 스낵의 feed 수분함량에 따른 기공의 특성은 feed 수분함량 19%인 경우 작은 기공이 골고루 분포되어 있고 세포벽이 얇은 반면, feed 수분함량이 23%인 경우는 기공이 잘 성장하지 못하고 세포벽이 두껍게 나타났다. Screw 속도에 따른 기공의 특성은 feed 수분함량 19%인 경우 screw 속도가 증가할수록 세포벽이 얇고 기공의 크기가 작으면서 균일한 특성을 나타냈으며, feed 수분함량 21%와 23%에서도 비슷한 경향을 보였다. Table 1에서 보는 바와 같이 쌀 스낵의 내부구조와 팽창의 정도를 나타내는 bulk density, porosity, expansion과 밀접한 관계가 있었다. 즉 feed 수분함량이 증가할수록 bulk density는 증가하였고, 쌀 스낵 내부의 기공은 잘 생성되지

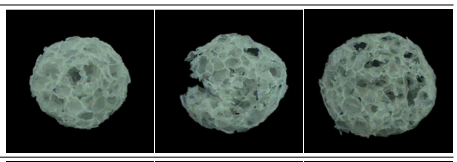
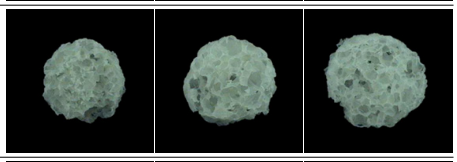
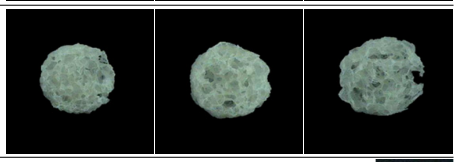
Feed moisture content (%)	Screw speed (rpm)		
	200	300	400
19			
21			
23			

Fig. 2. Cross section structure of rice snacks (40×).

못하여 세포벽도 두꺼웠으며 기공의 수도 적었다. 또한 Jin 등(36)은 압출성형 제품의 미세구조는 breaking strength와 밀접한 관련이 있다고 하였으며, 세포벽이 두꺼울수록 shear force는 커진다고 하였는데 본 실험 결과와 일치하였다. 전보(30)의 찹쌀가루와 쌀가루, 탈지콩가루를 주재료로 하여 feed 수분함량 16%~18%, screw 속도 300~400 rpm 조건에서 압출성형 한 유과바탕의 단면 구조에 비하여 쌀가루, 고아밀로오스 전분, 분리대두단백으로 feed 수분함량 19%에서 screw 속도 300 rpm 및 400 rpm 조건으로 제조한 쌀 스낵 세포벽이 더 엷고 기공이 잘 발달된 것을 볼 때 쌀가루, 고아밀로오스 전분, 분리대두단백은 쌀 스낵의 다공성을 향상시키는 데 더 적합하다고 생각된다. 한편 feed 수분함량이 낮을수록 질감이 부드럽고 다공성이 더 양호한 결과를 나타냈기 때문에 feed 수분함량을 19% 이하로 하여 쌀가루, 고아밀로오스 전분, 분리대두단백으로 쌀 스낵을 제조하였으나, 과도한 열 발생으로 인하여 쌀 스낵 형성이 어려웠다. 따라서 곡류의 압출성형 시 다공성을 향상시키고 부드러운 질감을 유지할 수 있는 또 다른 방법의 연구가 필요하다고 생각된다.

요 약

쌀가루, 고아밀로오스 전분, 분리대두단백, 설탕 및 소금을 첨가하여 feed 수분함량 19~23%, screw speed 200~400 rpm, feed rate 43.6 kg/hr 조건에서 제조한 쌀 스낵의 이화학적 특성을 분석한 결과는 다음과 같다. 쌀 스낵의 bulk density는 0.06~0.21, apparent density는 0.55~0.65 정도로 나타났고, feed 수분함량이 많을수록, screw 속도가 감소할수록 증가하는 경향을 보였다. 쌀 스낵의 팽화율은 density와는 반대로 feed 수분함량이 낮을수록, screw 속도가 증가할수록 증가하였다. 쌀 스낵의 WAI는 feed 수

분함량이 많을수록, screw 속도가 감소할수록 증가한 반면, WSI는 WAI와는 반대의 경향을 나타냈다. 쌀 스낵의 breaking strength는 feed 수분함량이 증가할수록, screw 속도가 감소할수록 증가하였다. 쌀 스낵의 색도 중 L값은 feed 수분함량 19%, 21%에서는 screw 속도가 증가할수록 L값은 낮았으나, feed 수분함량 23%에서는 screw 속도에 따른 유의적인 차이는 없었다. a, b값은 feed 수분함량 19%에서는 screw 속도가 증가함에 따라 높아졌다. 쌀 스낵의 x-ray 회절도는 feed 수분함량이 낮을수록, screw 속도가 높을수록 회절강도가 낮게 나타났고, feed 수분함량 19%, 21%, screw 속도 300 및 400 rpm에서는 V 도형의 특징을 나타냈다. 쌀 스낵의 내부 단면구조는 feed 수분함량이 많을수록, screw 속도가 낮을수록 기공의 생성이 잘 되지 않았고 세포벽이 두껍게 나타났다.

감사의 글

이 논문은 2013년도 순천대학교 학술연구비 공모과제로 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

REFERENCES

1. Yoon SJ. 1999. *Tteok, snack, beverages of Korea*. Ji-Gu Publishing Co., Seoul, Korea. p 10-14.
2. The Korea Rice Foodstuffs Association. http://www.krfa.or.kr/board/read.php?bid=pds3&num=1730&page=1 (accessed month? 2014).
3. Kim MR. 2011. The status of Korea's rice industry and the rice processing industry. *Food Industry and Nutrition* 16(1): 22-26.
4. Kang SH, Ryu GH. 2002. Analysis of traditional process for Yukwa making, a Korean puffed rice snack (Ⅰ): steeping and punching process. *Korean J Food Sci Technol* 34: 597-603.
5. Tie Jin, Lee ES, Hong ST, Ryu GH. 2007. Manufacturing of Goami flakes by using extrusion process. *Korean J Food Sci Technol* 39: 146-151.
6. Singh N, Smith AC. 1997. A comparison of wheat starch, whole wheat meal and oat flour in the extrusion cooking process. *J Food Eng* 34: 15-32.
7. Lin S, Hsieh F, Huff HE. 1997. Effects of lipids and processing conditions on degree of starch gelatinization of extruded dry pet food. *LWT－Food Sci Technol* 30: 754-761.
8. Pansawat N, Jangchud K, Jangchud A, Wuttijumnong P, Saalia FK, Eitenmiller RR, Phillips RD. 2008. Effects of extrusion conditions on secondary extrusion variables and physical properties of fish, rice-based snacks. *LWT－Food Sci Technol* 41: 632-641.
9. Altan A, McCarthy KL, Maskan M. 2008. Evaluation of snack foods from barley-tomato pomace blends by extrusion processing. *J Food Eng* 84: 231-242.
10. Han GH, Kim BY. 2003. Optimization of the extrusion processing conditions of soymilk residue and corn grits mixture. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 32: 1270-1277.
11. Kim CH, Tie J, Ryu GH. 2012. Effects of moisture content on physical properties of extruded cereal flours. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 41: 1603-1610.
12. Cho SC, Kang BS. 2013. Determination of the optimal mixture ratio for extrudates of Job's-tear and wheat flour by mixture design analysis. *Korean J Food Sci Technol* 45: 473-477.
13. Jung BM, Park DK, Kim ES, Rhee KS, Rhee KC. 2000. Sing-screw extrusion putting of rice flour-defatted soy flour-squid blends: process optimization and product characterization. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 29: 412-419.
14. Lee C. 2004. Optimization for extrusion-cooking of rice-ISP-file fish mixture by response surface methodology. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 33: 1742-1747.
15. Lee SY, Jang SY, Park MJ, Kim BK. 2007. The quality and storage characterization of extrusion-puffed Yukwa. *Korean J Food Cookery Sci* 23: 369-377.
16. Choi HD, Seog HM, Choi IW, Park MW, Ryu GH. 2004. Preparation of flakes by extrusion cooking using barley broken kernels. *Korean J Food Sci Technol* 36: 276-282.
17. Ilo S, Liu Y, Berghofer E. 1999. Extrusion cooking of rice flour and amaranth blends. *LWT－Food Sci Technol* 32: 79-88.
18. Ding QB, Ainsworth P, Tucker G, Marson H. 2005. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice based expanded snacks. *J Food Eng* 66: 283-289.
19. Grenus KM, Hsieh F, Huff HE. 1993. Extrusion and extrudate properties of rice flour. *J Food Eng* 18: 229-245.
20. Hagenimana A, Ding X, Fang T. 2006. Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. *J Cereal Sci* 43: 38-46.
21. Ding QB, Ainsworth P, Plunkett A. 2006. The effect of extrusion conditions on the functional and physical properties of wheat-based snacks. *J Food Eng* 73: 142-148.
22. Onyango C, Noetzold H, Bley T, Henle T. 2004. Proximate composition and digestibility of fermented and extruded *uji* from maize-finger millet blend. *LWT－Food Sci Technol* 37: 827-832.
23. Thymi S, Krokida MK, Papa A, Maroulis ZB. 2005. Structural properties of extruded corn starch. *J Food Eng* 68: 519-526.
24. Yanniotis S, Petraki A, Soumpasi E. 2007. Effect of pectin and wheat fibers on quality attributes of extruded cornstarch. *J Food Eng* 80: 594-599.
25. Carvalho CWP, Takeiti CY, Onwulata CI, Pordesimo LO. 2010. Relative effect of particle size on the physical properties of corn meal extrudates: effect of particle size on the extrusion of corn meal. *J Food Eng* 98: 103-109.
26. Shin M. 2004. Development and applications of resistant starch. *Food Industry and Nutrition* 9(2): 1-9.
27. Seol SM, Bang MH, Choi OS, Kim WK. 2003. Effects of high amylose starch on lipid metabolism and immune response in rats. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 32: 450-457.
28. Choi YM, Oh SH, Yu KW, Shin KS, Ra KS, Park CS, Kim KM, Suh HJ. 2005. Physiological characteristics of resistant starch (HI-MAIZE DIET) fortified with other dietary fiber components. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 34: 351-355.
29. Haralamp SG. 2000. Resistant starch-a review of the physical properties and biological impact of RS_3. *Carbohydr Polym* 41: 285-292.
30. Eun JB, Hsieh F, Choi OJ. 2009. Physical properties of *Yukwa* base according to the extrusion processing conditions (1): manufacturing of *Yukwa* base with combination of glutinous rice flour and rice flour. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 38: 1760-1766.
31. Pyler EJ. 1979. Physical and chemical test methods. In *Baking Science and Technology*. Sosland Pub. Co., Kansas

City, MO, USA. Vol Ⅱ, p 891-895.
32. Yağcı S, Göğüş F. 2008. Response surface methodology for evaluation of physical and functional properties of extruded snack foods developed from food-by-products. *J Food Eng* 86: 122-132.
33. Yang SH, Peng J, Lui WB, Lin J. 2008. Effect of adlay species and rice flour ratio on the physicochemical properties and texture characteristic of adlay-based extrudates. *J Food Eng* 84: 489-494.
34. Bhatnagar S, Hanna MA. 1995. Physical, mechanical, and thermal properties of starch-based plastic foams. *Trans ASABE* 38: 567-571.
35. Kaur M, Singh N. 2006. Relationships between selected properties of seeds, flours, and starches from different chickpea cultivars. *Int J Food Prop* 9: 597-608.
36. Jin Z, Hsieh F, Huff HE. 1995. Effects of soy fiber, salt, sugar and screw speed on physical properties and microstructure of corn meal extrudate. *J Cereal Sci* 22: 185-194.
37. Nyombaire G, Siddiq M, Dolan KD. 2011. Physico-chemical and sensory qual ity of extruded light red kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) porridge. *LWT−Food Sci Technol* 44: 1597-1602.
38. Cisneros FH, Kokini JL. 2002. A generalized theory linking barrel fill length and air bubble entrapment during extrusion of starch. *J Food Eng* 51: 139-149.
39. Rayas-Duarte P, Majewska K, Doetkott C. 1998. Effect of extrusion process parameters on the quality of buckwheat flour mixes. *Cereal Chem* 75: 338-345.
40. Suknark K, Philips RD, Chinnan MS. 1997. Physical properties of directly expanded extrudates formulated from partially defatted peanut flour and different types of starch. *Food Res Int* 30: 575-583.
41. Mendonça S, Grossmann MVE, Verhé R. 2000. Corn bran as a fibre source in expanded snacks. *LWT−Food Sci Technol* 33: 2-8.
42. Ainsworth P, Ibanoglu S, Plunkett A, Ibanoglu E, Stojceka V. 2007. Effect of brewers spent grain addition and screw speed on the selected physical and nutritional properties of extruded snack. *J Food Eng* 81: 702-709.
43. Stojceska V, Ainsworth P, Plunkett A, İbanoğlu Ş. 2009. The effect of extrusion cooking using different water feed rates on the quality of ready-to-eat snacks made from food by-products. *Food Chem* 114: 226-232.
44. Wen LF, Rodis P, Wasserman BP. 1990. Starch fragmentation and protein insolubilization during twin-screw extrusion of corn meal. *Cereal Chem* 67: 268-275.
45. Meng X, Threinen D, Hansen M, Driedger D. 2010. Effects of extrusion conditions on system parameters and physical properties of a chickpea flour-based snack. *Food Res Int* 43: 650-658.
46. Hsieh F, Huff HE, Peng IC. 1990. Studies of whole cottonseed processing with a twin-screw extruder. *J Food Eng* 12: 293-306.
47. Hung PV, Maeda T, Morita N. 2007. Study on physicochemical characteristics of waxy and high-amylose wheat starches in comparison with normal wheat starch. *Starch* 59: 125-131.
48. Thuwall M, Boldizar A, Rigdahl M. 2006. Extrusion processing of high amylose potato starch materials. *Carbohydr Polym* 65: 441-446.
49. Panmanabhan M, Bhattachayrya M. 1989. Extrudate expansion during extrusion cooking of foods. *Cereal Food World* 34: 945-949.