

수분함량에 따른 곡류 압출성형물의 물리적 특성 비교

김철현¹ · 김 철² · 류기형^{1*}

¹공주대학교 식품공학과

²중국 연변대학교 농학원 식품과학부

Effects of Moisture Content on Physical Properties of Extruded Cereal Flours

Cheol-Hyun Kim¹, Jin Tie², and Gi-Hyung Ryu^{1*}

¹Dept. of Food Science and Technology, Kongju National University, Chungnam 340-800, Korea

²Dept. of Food Science and Engineering, Agricultural College of Yanbian University, Yanji, Jilin 133002, China

Abstract

The effects of moisture content on the physical properties of cereal extrudates were investigated. Cereal flours (rice, wheat, corn, barley, and oat) were extruded at a barrel temperature of 130°C, feed rate of 120 g/min, and various moisture contents (20, 22.5, 25, 27.5, and 30%). Proximate content, expansion index, specific length, bulk density, breaking strength, apparent elastic modulus, water absorption index (WAI), water solubility index (WSI), specific mechanical energy (SME) input, paste viscosity, and color values were analyzed. Expansion ratio of extruded corn flour was higher than that of other extrudates at low moisture content. Bulk density, specific length, and elastic modulus in all cereals decreased with an increase in moisture content. The WAI increased with an increase in moisture content, whereas WSI decreased. SME input of extruded corn flour was higher than those of other cereal flours at lower moisture content, whereas that of oat flour extrudate was lower than those of other cereals at higher moisture content. Lightness of extruded rice flour was lighter than those of other cereals while that of extruded barley flour was darker.

Key words: cereal flour, extrusion cooking, moisture content, physical properties

서 론

중요 식량으로 사용되어 온 곡류는 전 세계적으로 곡류자 체나 곡류전분을 이용한 제품을 통하여 영양급원으로 삼고 있다. 곡류는 화분과에 속하고 쌀, 맥류, 잡곡으로 분류되며 그 성분을 보면 전분 약 60~70%, 단백질 10~15%, 지방 2~5%, 비타민, 무기질이 함유되어 있는 좋은 영양 급원으로 보고되고 있다(1,2).

최근 곡류를 이용하여 성분 변화와 제품 개발에 관한 연구가 진행되고 있는데 특히 압출성형공정을 이용하여 활발히 진행되고 있다. 압출성형공정은 연속공정으로 시간, 에너지, 비용 등을 최소화할 수 있고, 고온에서 단시간에 처리하기 때문에 스펙이나 후레이크 등의 제조(3,4)와 압출성형공정을 통한 식물성 단백질의 조직화를 통한 인조육 개발에 관한 보고가 있다(5). 압출성형을 통한 연구는 주식으로 사용되는 쌀, 밀, 옥수수를 이용한 연구가 활발히 이루어지고 있으며 전곡립이나 전분을 이용하여 압출성형 연구가 진행되고 있다. 예를 들면 원료 자체의 물리적 특성 변화를 측정한 연구 보다는 곡류가루와 혼합하여 연구한 결과가 많은데 그중 밀

전분과 통밀, 귀리가루를 혼합하여 온도와 수분에 변화를 주어 압출성형 하였을 때 물리적 변화(6)와 쌀가루에 삼중질을 첨가하여 압출성형 한 후 후레이크와 에너지바 제조에 관한 연구(3), 쌀가루와 옥수수가루의 첨가 비율에 따라 제조한 생선스낵의 품질 특성에 관한 연구(7), 옥수수가루를 이용한 압출성형물의 특성 비교한 연구(8)와 귀리와 옥수수를 혼합하여 지방함량에 따른 압출성형물의 물리적 변화를 알아본 연구(9), 보리 파쇄립을 이용하여 압출성형공정을 통한 후레이크 제조에 관한 연구(10), 쌀, 밀(common, emmer, buck), 보리, 호밀의 전곡립을 압출성형공정 대신 고온고압의 증기를 이용하여 팽화시켜 물리적인 특성에 관한 연구(11)도 발표되었다.

이와 같이 곡류를 이용한 연구는 일반적으로 곡류가루의 비율을 달리하여 혼합하거나 혹은 첨가물의 비율을 달리하여 압출성형 한 연구와 다른 열처리를 통한 성분 변화에 대한 연구가 많이 발표되었다. 원료에 가해지는 물리적인 힘의 변화를 이용한 연구는 많이 진행되고 있는 반면에 압출성형 시 다양한 곡류 원료의 수분함량을 변화시켰을 때 연구결과가 부족한 실정이다.

*Corresponding author. E-mail: ghryu@kongju.ac.kr
Phone: 82-41-330-1484, Fax: 82-41-335-5944

본 연구는 쌀, 밀, 옥수수, 보리, 귀리가루의 수분함량을 달리하여 압출성형 하였을 때 비기계적 에너지, 밀도, 팽화율, 겉보기 탄성계수와 파괴력, 수분용해지수와 수분흡착지수, 페이스트 점도와 색도의 변화에 관하여 살펴보았다.

재료 및 방법

재료

멥쌀가루((주)광일, 아산), 밀가루(대한제분, 인천), 옥수수가루(동일곡산, 안산), 보리가루(인그린, 포천), 귀리가루(이든타운 F&B, 여주)를 구입하여 사용하였다.

일반성분

멥쌀가루, 밀가루, 옥수수가루, 보리가루, 귀리가루의 조분분, 조단백(N×6.25), 조지방은 AACC방법에 의하여 측정하였다(12). 그 결과는 Table 1과 같다.

압출성형

실험에 사용한 압출성형기는 자체 제작한 실험용 동방향 쌍출 압출성형기(THK31T, Incheon Machinery Co., Incheon, Korea)를 사용하였으며, 스크루 배열은 Fig. 1과 같다. 직경은 32.0 mm, 직경과 길이의 비(L/D ratio)는 24:1이었고 사출구는 원형으로 직경이 3.0 mm인 것을 사용하였으며, 배럴온도는 전열기와 냉각수를 사용하여 조절하였다. 압출성형 공정변수는 전체의 수분함량을 20.0, 22.5, 25.0, 27.5, 30.0%가 되도록 원료에 수분을 공급하였고, 스크루 회전속도 200 rpm, 배럴온도 130°C, 원료 투입량 120 g/min으로 고정하였다. 제조된 압출성형물은 열풍건조기(DS-FCPO250, Dongseo Sci. Co., Seoul, Korea)에서 50°C로 건조하였다. 압출성형물을 Micro Hammer-cutter Mill(Type 3, Culatti AG Co., Zürich, Switzerland)로 분쇄하여 직경이 0.5 mm인 체를 통과한 분말을 시료로 사용하였다.

비기계적 에너지

비기계적 에너지 투입량(specific mechanical energy input)은 원료가 투입되어 압출성형기를 통과할 때 원료 단위 질량당 소비된 전기에너지(electric energy)로 나타내었다. 원료 투입 시 전력(electirc power)에서 모터 공회전 시의 전력을 감한 것이 실제 원료에 투입된 전력이 된다. 비기계적 에너지 투입량의 계산식은 식 (1)과 같다(13).

$$SME \text{ input} = \frac{(E - E_0)}{P_R} \tag{1}$$

E: Electric power when input to material (kJ/s)

E₀: Electric power when idling (kJ/s)

P_R: Production rate (kg/s)

직경 팽화율과 비길이

직경 팽화율은 압출성형물의 직경을 캘리퍼스(CD-15C, Mitutoyo Co., Tokyo, Japan)로 10회 측정하여 사출구의 직경과 압출성형물 직경비의 평균값으로 식 (2)를 이용하여 산출하여 평균값과 오차를 구하였으며, 비길이는 일정한 길이로 절단한 압출성형물의 길이와 무게의 비로 10회 반복 측정 후 식 (3)을 이용하여 평균값과 오차를 구하였다(14). 압출성형물의 길이는 캘리퍼스를 이용하였고, 무게는 전자저울(MW-II, CAS Co., Gyeonggi, Korea)을 사용하였다.

$$SEI = \frac{S_e}{S_d} \tag{2}$$

S_e: Cross-sectional area of extrudate

S_d: Cross-sectional area of die hole

$$\text{Specific length (cm/g)} = \frac{\text{Length of extrudate (cm)}}{\text{Weight of extrudate (g)}} \tag{3}$$

체적밀도

압출성형물의 밀도는 차조를 이용한 종자치환법으로 3회 반복하여 평균값을 산출하였다. 계량컵을 사용하여 차조의

Table 1. Proximate component of cereal flours

Composition (%)	Rice flour	Wheat flour	Corn flour	Barley flour	Oat flour
Moisture contents	9.17±0.24	12.52±0.11	10.44±0.18	7.83±0.10	9.35±0.03
Crude ash	2.18±0.40	5.74±0.79	2.58±0.83	10.01±0.21	7.08±0.71
Crude fat	0.53±0.04	1.04±0.05	0.94±0.02	2.52±0.05	7.20±0.10
Crude protein	6.78±0.13	9.70±0.06	7.48±0.08	12.03±0.23	12.00±0.33

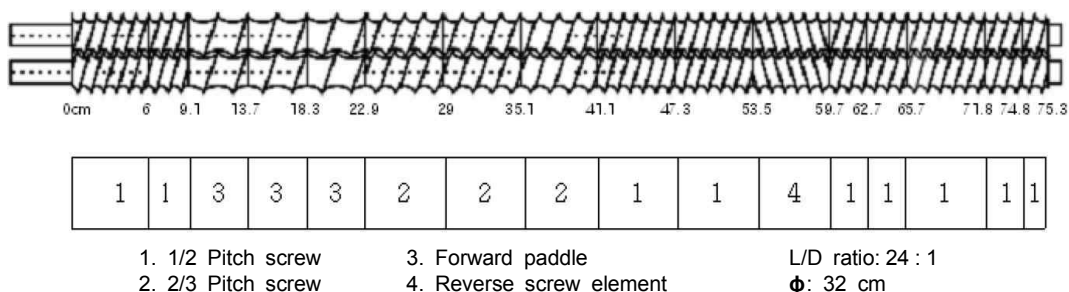


Fig. 1. Screw configuration used in this experiment (Model THK31T).

부피를 10회 반복하여 그 평균값을 구하고 압출성형물과 차조를 포함한 부피를 측정하여 압출성형물의 밀도를 계산하였다. 압출성형물의 밀도는 식 (4)와 같다(13,15).

$$\rho_e = \frac{M}{M + M_0 - M_1} \times \rho_m \quad (4)$$

ρ_e : Bulk density of extrudate

ρ_m : Bulk density of millet

M: Mass of extrudate

M_0 : Mass of millet in cup

M_1 : Mass of extrudate and millet in cup

겉보기 탄성계수와 파괴력

압출성형물의 겉보기 탄성계수와 파괴력은 Sun Rheometer(Compac-100II, Sun Sci., Tokyo, Japan)를 사용하여 10회 측정하여 평균값을 산출하였다. 측정 조건은 probe angle type(65°), 최대응력 2 kg, 지지대 이동속도 120 mm/min, 지지대간의 거리 3 cm였다. 측정한 결과를 Ryu와 Ng (13)이 제시한 아래의 식을 이용하여 겉보기 탄성계수(E_{app})와 파괴력(F_{bs})을 각각 식 (5)와 식 (6)으로 계산하였다.

$$E_{app} = (dF/dl)(64d^3/48\pi D^4) \quad (5)$$

E_{app} : Apparent elastic modulus

dF/dl : Slope of the linear section of the force-distance curve

D: Diameter of extrudate

d: Distance between two supports

$$F_{bs} = F_s/S \quad (6)$$

F_s : Maximum stress of extrudate

S: Cross-sectional area of extrudate

수분흡착지수와 수분용해지수

압출성형 멥쌀, 밀, 옥수수, 보리, 귀리가루의 수용성 성질을 분석하고자 AACC 방법(12)을 응용하여 건량기준의 시료 1 g에 증류수 25 mL를 가하여 30°C의 항온수조(BF-45SB, Biofree Co., Seoul, Korea)에서 30분간 교반한 후 원심분리기(H-1000-3, Hanil Science Industrial Co., Incheon, Korea)에서 3,000 rpm으로 20분간 원심분리 하였다. 상등액을 알루미늄접시에 부은 후 침전물의 무게를 측정하고, 알루미늄접시를 105°C의 열풍건조기(HB-502MP, Han Beak Co., Gyeonggi, Korea)에서 2시간 동안 건조한 뒤 상등액의 고형분 함량을 측정하여 수분흡착지수(water absorption index)와 수분용해지수(water solubility index)를 아래의 식 (7)과 식 (8)로 각각 계산하였다.

$$WAI(g/g) = \frac{\text{Hydrated sample wt.} - \text{Dry sample wt.}}{\text{Dry sample wt.}} \quad (7)$$

$$WSI(\%) = (\text{Dry solid wt. recovered by evaporating the supernatant} / \text{Dry sample wt.}) \times 100 \quad (8)$$

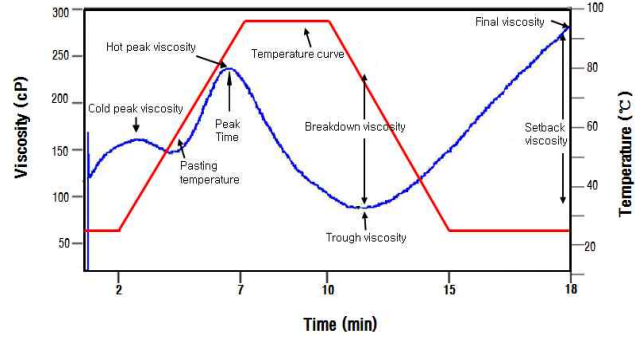


Fig. 2. RVA temperature profile and pasting parameters.

페이스트 점도

압출성형물의 페이스트 점도를 측정하기 위해 신속점도 측정기(RVA, Rapid viscosity analyser, RVA3D, Newport Scientific Inc., Narrabeen, Australia)를 사용하였다. 시료 3 g(14%, w.b.)을 알루미늄 캔에 넣은 후 증류수 25 mL를 가하고 유리막대를 이용하여 1차 교반한 후 페이스트 점도를 측정하였다.

신속점도측정기의 가열과 냉각조건은 초기온도 25°C에서 2분간 유지한 후 5분간 95°C로 가열 후 3분간 95°C로 유지하였으며, 5분간 25°C로 냉각하였다. 페달의 회전은 초기 시료의 분산을 증대시키기 위해 960 rpm으로 회전시킨 후 160 rpm에서 점도를 측정하였다(16).

Fig. 2의 페이스트 점도곡선으로부터 최고점도(peak viscosity, PV), 최저점도(trough viscosity, TV), 최종점도(final viscosity, FV), 구조파괴점도(breakdown viscosity, BV)와 회복점도(setback viscosity, SV) 등의 페이스트 점도 지표를 각각 구하였다.

색도

색도 측정은 chromameter(CR-300, Minolta, Osaka, Japan)를 사용하여 명도(L, lightness), 적색도(a, redness), 황색도(b, yellowness) 값을 3회 반복하여 측정하였고, 이때 사용한 표준 백색 판은 L, a, b 값이 각각 96.98, 0.53, 1.72인 것을 사용하였다. L값은 100(white)에서 0(black), a값은 +60(red)에서 -60(green), b값은 +60(yellow)에서 -60(blue)으로 나타내었다.

총 색도 변화(ΔE)는 식 (9)를 이용하여 계산하였다.

$$\Delta E = \sqrt{(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2} \quad (9)$$

결과 및 고찰

수분함량 변화에 따른 비기계적 에너지 투입량

멥쌀, 밀, 옥수수, 보리, 귀리가루의 수분함량에 따른 비기계적 에너지 투입량은 Fig. 3과 같다. 수분함량 20.0%일 때 비기계적 에너지 투입량은 멥쌀가루 571.53 kJ/kg, 밀가루 735.56 kJ/kg, 옥수수가루 561.73 kJ/kg, 보리가루 432.76

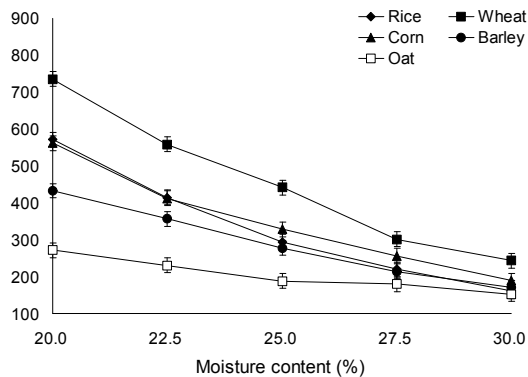


Fig. 3. Effect of moisture content on SME input during extrusion of cereal flours.

kJ/kg, 귀리가루 271.54 kJ/kg으로 나타났으며, 그중 밀가루가 가장 높은 값을 나타내었고 귀리가루가 가장 낮은 값을 나타내었다. 쌀가루와 옥수수가루는 수분함량이 20%일 때 큰 차이는 나지 않았다. 수분함량이 30%일 때 멥쌀가루 160.77 kJ/kg, 밀가루 243.53 kJ/kg, 옥수수가루 188.91 kJ/kg, 보리가루 170.26 kJ/kg, 귀리가루 152.77 kJ/kg으로 수분함량 30%일 때 멥쌀, 옥수수, 보리, 귀리가루의 비기계적 에너지 투입량은 비슷하게 나타났다. 따라서 수분함량이 20%에서 30%로 증가함에 따라 비기계적 에너지 투입량은 감소하는 경향을 보였다. 그중 밀가루의 감소폭이 가장 크게 나타났고 귀리는 가장 낮게 나타났다.

Mahsa와 Asgar(17)의 연구결과에 따르면 비기계적 에너

지 투입량은 수분함량이 증가할수록 압출성형 시 비기계적 에너지 투입량이 감소하였다는 보고가 있으며, Ryu와 Ng(13)도 마찬가지로 수분함량을 독립변수로 하여 압출성형하였을 때 수분함량이 낮을수록 비기계적 에너지 투입량이 증가한다고 보고된 바 이는 본 연구의 수분함량 변화에 따른 비기계적 에너지 투입량이 감소하는 결과와 일치하였다.

곡류가루 압출성형물의 물리적 특성

물리적 특성(팽화율, 비밀도, 체적밀도, 겉보기 탄성계수와 파괴력)은 압출성형물의 조직감에 영향을 미치는 인자로 압출성형물의 품질을 결정하는데 중요하다. 수분함량 변화에 따른 압출성형물의 물리적 특성은 Table 2와 같다. 팽화는 압출성형기 내에서 원료가 고온, 고압 상태에서 사출구를 통과할 때 압력의 차이로 인한 수분 증발이 용융물의 기포 생성을 통하여 급격하게 팽화가 일어나게 된다(18). Table 2에서 수분함량이 20~30%로 증가할 때 직경 팽화율은 멥쌀가루 2.85~1.93, 밀가루 3.16~2.18, 옥수수가루 3.55~2.02, 보리가루 2.21~1.76, 귀리가루 1.62~1.51로 나타났다. 수분함량 20%일 때 압출성형 옥수수가루의 팽화율이 3.55 ± 0.45 로 가장 높게 나타났으며, 반면에 귀리의 팽화율이 1.62 ± 0.20 으로 가장 낮게 나타났다. 수분함량이 증가하면 팽화율이 감소하는 경향을 보였으나 귀리의 경우 수분함량이 증가할수록 팽화율의 변화가 뚜렷하게 나타나지 않았다. 다른 곡류와 비교하여 귀리의 탄수화물 함량은 낮고 지방의 함량이 높기 때문에 팽화율이 다른 곡류가루에 비해 낮게 측정된

Table 2. Physical properties of extruded cereal flour at different moisture content

Extrusion materials	Moisture content (%)	Expansion ratio	Specific length (cm/g)	Bulk density (g/cm^3)	Breaking strength (N/cm^2)	Elastic modulus (N/cm^2)
Rice	20.0	2.85 ± 0.26	67.37 ± 1.88	0.22 ± 0.01	16.75 ± 1.59	$7.66.E+03$
	22.5	2.50 ± 0.21	63.44 ± 3.13	0.27 ± 0.01	22.33 ± 1.46	$6.19.E+03$
	25.0	2.30 ± 0.40	64.02 ± 2.21	0.37 ± 0.01	29.84 ± 0.94	$3.80.E+03$
	27.5	1.98 ± 0.30	73.64 ± 2.20	0.38 ± 0.03	30.45 ± 2.52	$1.97.E+03$
	30.0	1.93 ± 0.30	81.21 ± 4.39	0.38 ± 0.06	35.16 ± 2.97	$1.84.E+03$
Wheat	20.0	3.16 ± 0.27	90.69 ± 1.79	0.14 ± 0.01	15.67 ± 1.41	$5.81.E+03$
	22.5	2.58 ± 0.27	79.22 ± 1.63	0.22 ± 0.01	35.41 ± 0.58	$4.02.E+03$
	25.0	2.33 ± 0.27	69.71 ± 1.34	0.30 ± 0.01	51.17 ± 1.38	$3.73.E+03$
	27.5	2.27 ± 0.17	64.37 ± 2.04	0.32 ± 0.01	35.41 ± 3.44	$5.08.E+03$
	30.0	2.18 ± 0.23	70.61 ± 2.08	0.38 ± 0.05	27.21 ± 2.08	$3.09.E+03$
Corn	20.0	3.55 ± 0.45	66.10 ± 2.91	0.17 ± 0.01	13.22 ± 0.42	$1.60.E+07$
	22.5	3.02 ± 0.49	63.01 ± 2.32	0.20 ± 0.01	21.29 ± 1.18	$8.62.E+06$
	25.0	2.57 ± 0.41	63.61 ± 2.50	0.32 ± 0.02	28.36 ± 2.16	$9.33.E+06$
	27.5	2.18 ± 0.18	66.55 ± 2.23	0.37 ± 0.01	45.50 ± 5.23	$4.37.E+06$
	30.0	2.02 ± 0.26	75.48 ± 1.88	0.41 ± 0.01	52.68 ± 1.87	$2.98.E+06$
Barley	20.0	2.21 ± 0.19	82.58 ± 1.58	0.35 ± 0.08	21.57 ± 1.77	$2.01.E+06$
	22.5	1.97 ± 0.14	82.09 ± 2.14	0.41 ± 0.04	30.67 ± 0.49	$1.32.E+06$
	25.0	1.87 ± 0.30	79.29 ± 2.73	0.44 ± 0.01	43.88 ± 1.00	$2.17.E+06$
	27.5	1.83 ± 0.12	82.27 ± 2.35	0.44 ± 0.03	31.48 ± 0.91	$1.59.E+06$
	30.0	1.76 ± 0.15	83.26 ± 2.49	0.42 ± 0.01	30.49 ± 2.26	$1.33.E+06$
Oat	20.0	1.62 ± 0.20	100.80 ± 1.04	0.47 ± 0.02	43.96 ± 1.67	$4.91.E+05$
	22.5	1.51 ± 0.18	96.87 ± 0.67	0.54 ± 0.02	61.66 ± 3.66	$4.44.E+05$
	25.0	1.51 ± 0.17	94.78 ± 2.10	0.54 ± 0.01	62.62 ± 3.09	$5.69.E+05$
	27.5	1.51 ± 0.16	96.67 ± 2.21	0.53 ± 0.01	57.43 ± 3.36	$6.07.E+05$
	30.0	1.51 ± 0.19	97.46 ± 2.41	0.54 ± 0.04	52.42 ± 1.68	$7.44.E+05$

것으로 판단되었다. Ryu와 Lee(19)에 의하면 낮은 수분함량에서는 팽화가 잘 이루어지는 반면 수분함량 28%일 때의 팽화율이 감소하였다는 결과와 일치하였는데 원인은 원료의 수분함량이 높아질수록 압출성형기 내부물질의 점성 감소에 의한 흐름이 원활하여 압력이 낮아져 팽화율이 낮아진다고 보고하였다.

밀도는 수분함량이 증가할수록 증가하는 경향을 보였는데 그중 수분함량 30%일 때 귀리의 밀도가 $0.54 \pm 0.04 \text{ g/cm}^3$ 로 가장 높았으며, 수분함량 20%일 때 밀가루의 밀도가 $0.14 \pm 0.01 \text{ g/cm}^3$ 로 가장 낮게 측정되었다. Mariotti 등(11)의 연구결과에 따르면 쌀, 밀(common, emmer, buck), 보리의 전곡립을 고온고압의 스팀을 이용하여 팽화를 시켰을 때의 밀도의 결과와 일치하였다. 비길이는 수분함량 20%일 때 $100.80 \pm 1.04 \text{ cm/g}$ 로 귀리의 비길이가 가장 높게 나타났으며, 수분함량 22.5%일 때 옥수수의 비길이가 $63.01 \pm 2.32 \text{ cm/g}$ 로 가장 낮게 측정되었다. 이는 수분함량이 높을수록 압출성형물이 직경 팽화보다 길이 팽화의 증가로 인하여 밀도와 비길이가 증가하고, 수분함량이 낮을수록 쉽게 팽화가 일어나기 때문에 길이 팽화보다 직경 팽화가 이루어져 감소하였을 것으로 판단하였다. Ryu와 Lee(19), Barrett와 Peleg(15), Hagenimana 등(20)에 의하면 옥수수와 쌀을 낮은 수분함량에서 압출성형을 하였을 때 기공이 크고 형성된 기공의 수축이 감소되지만, 수분함량을 증가시켰을 때 압출성형물의 기공이 수분 증발로 인해 압출성형물이 쉽게 수축이 되어 밀도가 증가한다는 결과와 일치하였다.

겉보기 탄성계수와 파괴력은 팽화율과 밀도, 기공구조에 영향을 받으며, 압출성형물의 품질을 결정하는데 중요하다 (3). 압출성형 귀리가루를 제외한 멥쌀, 밀, 옥수수, 보리가루의 겉보기 탄성계수는 수분함량이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다. 수분함량 20%일 때 겉보기 탄성계수가 큰 순서대로 나열하면 옥수수 > 멥쌀 > 밀 > 귀리 > 보리 순으로 나타났고, 수분함량 30%일 때 옥수수 > 보리 > 귀리 > 밀 > 멥쌀의 순서로 나타났다. 수분함량이 증가함에 따른 겉보기 탄성계수가 감소하는 것으로 나타났다. 절단강도는 보리를 제외한 다른 압출성형은 수분함량이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였다. 수분함량 20%일 때 절단강도를 비교하면 멥쌀은 $16.75 \pm 1.59 \text{ N/cm}^2$, 밀 $15.67 \pm 1.41 \text{ N/cm}^2$, 옥수수 $13.22 \pm 0.42 \text{ N/cm}^2$, 보리 $21.57 \pm 1.77 \text{ N/cm}^2$, 귀리 $43.96 \pm 1.67 \text{ N/cm}^2$ 로 나타났고, 수분함량 30%일 때 멥쌀 $35.16 \pm 2.97 \text{ N/cm}^2$, 밀 $27.21 \pm 2.08 \text{ N/cm}^2$, 옥수수 $52.68 \pm 1.87 \text{ N/cm}^2$, 보리 $30.49 \pm 2.26 \text{ N/cm}^2$, 귀리 $43.96 \pm 1.71 \text{ N/cm}^2$ 로 귀리의 절단강도가 가장 높았으며, 멥쌀의 절단강도가 가장 낮은 것을 확인할 수 있었다. 그리고 귀리의 경우 절단강도의 변화가 크지 않은 것을 알 수 있었다.

Liu 등(9)의 연구결과에 따르면 귀리와 옥수수를 혼합하여 압출성형조건에 따른 물리적인 변화를 비교한 결과, 귀리의 함량을 85%로 하여 압출성형을 하였을 때 수분함량이

증가함에 따라 겉보기 탄성계수가 증가하는 결과와 Ryu와 Ng(13)의 보고에 따르면 옥수수 가루를 압출성형 하였을 때 비기계적 에너지 투입량이 높을수록 파괴력은 감소한다는 결과와 일치하였다.

위의 결과에 따라 곡류가루를 압출성형 하였을 때, 전체적으로 보아 수분함량 20%일 때 팽화율이 가장 높았으며, 비길이는 수분함량이 증가함에 따라 감소하였고 밀도는 증가하는 경향을 보였다. 겉보기 탄성계수와 파괴력은 쌀과 옥수수의 경우 수분함량이 증가할수록 겉보기 탄성계수는 감소하고 파괴력은 증가하였으며, 밀, 보리, 귀리는 뚜렷한 변화는 없는 것으로 보아 Table 1의 원료의 일반성분 중 지방함량과 탄수화물 함량의 차이로 인하여 압출성형물에 영향을 준 것으로 사료된다.

수분흡착지수와 수분용해지수

수분함량의 변화가 압출성형 곡류가루의 수분흡착지수와 수분용해지수에 미치는 영향을 Fig. 4, 5에 각각 비교하였다. 수분함량 20%일 때 압출성형 쌀가루의 수분용해지수는 35.25%로 다른 압출성형 곡류가루에 비해 가장 높게 나타났으며 수분함량 20%일 때 압출성형 귀리가루의 수분용해지수는 11.73%로 다른 압출성형 곡류가루에 비해 가장 낮게 측정되었다. 대부분의 압출성형 곡류가루가 수분함량이 증가할수록 서서히 감소하여 수분함량 30%일 때는 20%일 때

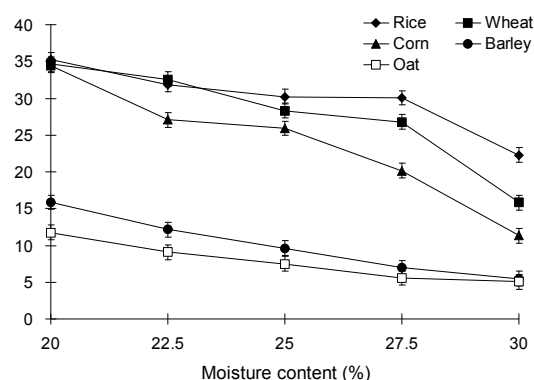


Fig. 4. Effect of moisture content on water solubility index during extrusion of cereal flours.

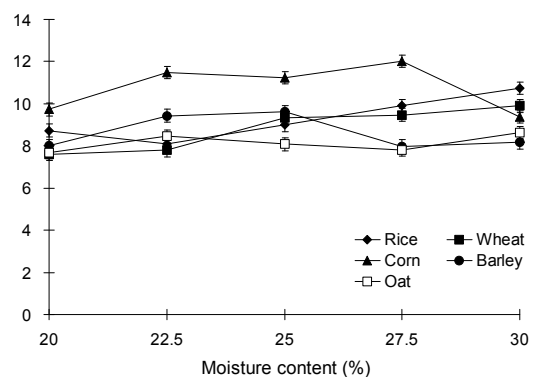


Fig. 5. Effect of moisture content on water absorption index during extrusion process of cereal flours.

보다 적게는 약 6%, 많게는 약 20% 감소하는 것을 확인하였다.

Jin(21)과 Gu 등(3)은 수분함량을 25%에서 30%로 증가시키고 배럴온도를 조절하였을 때 수분용해지수가 감소하고 수분흡착지수는 증가하는 경향을 보인 결과와 일치하였다.

이 결과로 보아 쌀, 옥수수, 밀, 보리, 귀리에 포함된 전분이 압출성형공정을 통하여 고압, 고온, 고전단력으로 인하여 전분 구성성분 중 아밀로펙틴이 아밀로오스보다 분획화가 증가한다는 보고(22,23)에 의하여 수분함량 20%에서 압출성형 곡류가루의 수용화지수가 증가하였을 것으로 판단되었다.

압출성형물 분말의 페이스트 점도

신속점도측정기로 측정된 원료와 압출성형물의 페이스트 점도는 Table 3과 같다. 원료 중 쌀가루의 최고점도, 구조 파괴점도, 최종점도, 회복점도가 다른 원료에 비해 높게 측정되었으나 압출성형공정 후 다른 원료에 비해 점도가 낮게 측정되었다. 그리고 원료의 호화개시온도는 옥수수가 4.96분으로 호화가 빨리 일어났으며 보리의 호화개시온도는 5.86분으로 옥수수에 비해 약 1분 가량 늦게 호화가 일어났다.

압출성형물의 페이스트 점도는 수분함량 27.5%일 때 전

체적으로 최고점도가 높게 측정되었는데, 수분함량 30%일 때 보리 압출성형물의 최종점도와 회복점도가 각각 44.92 cP, 37.53 cP로 다른 압출성형물보다 높게 측정되었으며, 멥쌀 압출성형물의 경우는 10.25 cP로 가장 낮은 점도를 보였다. 압출성형물의 호화개시온도는 수분함량이 20%일 때 원료에 비해 호화가 빨리 진행되었으며, 보리와 귀리의 경우 원료보다 약 1분 가량 늦은 호화개시온도 분포를 보였다.

Table 1에서 귀리의 경우 지방함량이 다른 원료에 비해 높은 것으로 보아 지방이 아밀로오스와 결합하여 호화를 지연시켰을 것으로 추측하였다. Ryu와 Lee(19)는 압출성형을 통한 전분입자가 기계적 손상으로 인하여 일부 전분 분자의 손상으로 인하여 호정화 되어 수분함량이 낮을수록 점도가 감소한다는 연구 결과와 일치하였고, Svihus 등(24)은 전분 입자의 팽윤은 전분결정영역에서 급격하게 되돌릴 수 없을 정도로 파괴되어 호화가 시작되는데 수분이 증가하면 호화는 50~70°C 사이에서 진행되며 팽윤의 원인은 전분입자에서 거의 모든 아밀로오스의 용출로 인하여 발생되고, 점도가 수용성 아밀로오스를 포함한 겔 형성으로 인해 증가한다고 보고하였다.

Table 3. Paste viscosity of cereal flour and extruded cereal flour at different moisture content

Extrusion materials	Moisture content (%)	Paste viscosity (cP) ¹⁾					
		PV	TV	BV	FV	SV	PT
Rice	20.0	7.67	1.04	7.67	5.14	6.13	4.60
	22.5	5.59	-1.75	6.34	5.36	7.00	3.10
	25.0	3.42	-1.75	5.17	4.47	4.17	3.62
	27.5	12.14	2.00	10.14	12.69	10.70	4.11
	30.0	8.25	-1.75	10.00	10.25	10.25	4.54
	Raw	4522	2099	3953	3953	1854	5.49
Wheat	20.0	23.42	-2.33	24.25	10.14	12.47	2.56
	22.5	24.29	2.25	21.67	17.22	16.50	3.31
	25.0	25.25	5.42	19.97	25.63	19.53	4.20
	27.5	27.46	5.30	21.42	27.08	24.33	5.36
	30.0	23.42	-2.33	23.42	28.34	30.14	6.25
	Raw	2746	1486	1260	2760	1274	5.71
Corn	20.0	9.25	-2.33	11.58	7.67	10.00	3.38
	22.5	10.80	1.25	9.55	18.34	17.09	4.71
	25.0	6.21	-2.33	9.42	14.88	17.83	4.69
	27.5	10.17	-2.33	9.67	21.13	22.56	5.54
	30.0	5.19	4.11	1.08	40.25	36.14	6.62
	Raw	1868	1397	3406	3406	2010	4.96
Barley	20.0	13.14	-1.83	14.97	17.17	19.00	5.91
	22.5	16.11	-1.83	17.94	23.14	24.97	6.22
	25.0	17.25	1.72	15.53	30.03	28.31	6.49
	27.5	23.34	2.55	20.69	36.55	34.25	6.67
	30.0	21.92	5.63	16.28	44.92	37.53	6.84
	Raw	2308	1400	2869	2869	1469	5.86
Oat	20.0	26.25	-2.33	24.41	21.42	21.22	6.50
	22.5	30.04	4.94	26.42	27.47	22.56	6.62
	25.0	31.61	-1.42	31.19	26.33	25.92	6.80
	27.5	38.30	1.25	34.00	32.72	28.41	6.91
	30.0	28.22	0.97	27.25	29.17	28.19	6.87
	Raw	2456	1843	613	3412	1569	5.69

¹⁾PV, peak viscosity; TV, trough viscosity; BV, breakdown viscosity; FV, final viscosity; SV, setback viscosity; PT, peak time (min).

Chinnaswamy와 Hanna(22)의 보고에 의하면 수분함량을 증가시키면서 압출성형 하였을 때 수분함량이 증가하면서 최고점도는 증가하고 최저점도는 감소하는 경향을 보인 이유는 압출성형 시 발생하는 전단력에 의해 낮은 수분함량에서 압출성형 후 전분구조의 파괴로 인하여 최고점도가 감소하였다는 보고와 멧쌀, 밀, 옥수수 가루를 수분함량 변화에 따라 압출성형 하였을 때 비기계적 에너지가 증가할수록 최종점도가 감소하였다는 Majzoobi와 Farahnaky(17)의 연구결과와 일치하였다. 그리고 Jin 등(4)은 일반적인 곡류 페이스트 점도 곡선에서 50°C 이하에서 저온최고점도(cold peak)가 나타나는데 이는 압출성형공정으로 인한 곡류의 전분이 호화가 일어나 낮은 온도(25°C)에서도 생전분과는 달리 물을 흡수하여 점도가 상승한다고 하였고, Chaudhary 등(25)은 압출성형 시 사출구에 가해지는 압력이 아밀로오스 함량에 변화를 주어 압출성형물의 아밀로오스 함량이 증가함에 따라 용융점도도 증가한다고 하였다.

따라서 압출성형공정을 통해 전단력과 고온, 고압으로 인하여 전분 입자의 파괴와 용출된 아밀로오스로 인해 수분함량이 낮을수록 점도가 감소하고 수분함량이 증가함에 따라 점도가 증가하는 것으로 사료된다.

색도

압출성형 곡류가루의 L, a, b 값의 변화는 Table 4와 같다. 원료의 명도는 멧쌀가루가 94.14 ± 0.02 로 가장 밝았으며 귀리가루가 86.31 ± 0.40 으로 가장 어둡게 측정되었다. 압출성형물의 명도는 압출성형공정을 거친 후 대체적으로 어둡게 측정되었으나 옥수수의 경우 명도가 약 82.06~82.82로 변화가 크지 않았음을 확인할 수 있었고, 보리의 명도는 수분함량 20%일 때 65.31 ± 0.01 로 가장 어둡게 측정되었다. 보리의 경우 최소호화온도가 약 51°C로 다른 곡류에 비해 호화가 잘 일어나 고온(130°C)으로 압출성형을 하였기 때문에 다른 곡류가루에 비해 쉽게 갈변화가 일어났을 것으로 판단하였다. 다른 원인으로는 Holguín-Acuña 등(26)의 보고에 의하면 옥수수 브랜과 귀리가루를 혼합하여 압출성형 하였을 때 식이섬유 함량에 의하여 명도가 어두워진다는 보고가 있었다.

적색도(a)는 대부분의 압출성형 곡류가루에서 수분함량이 증가할 때 점차 증가하는 경향을 보이다 25% 이후로 다시 감소하는 경향을 보였다. 황색도(b)는 원료보다 압출성형물이 증가하였으며, 그중 보리와 귀리가 가장 많이 증가하였다. 그리고 밀, 옥수수, 귀리의 경우 수분함량이 증가할수록 감소하는 경향을 보였으며, 쌀과 보리에서는 큰 변화가 없었다.

총 색도 변화(ΔE)는 수분함량 20%에서 보리가 20.30±

Table 4. Change in color value of cereal flour and extruded cereal flour at different moisture content

Extrudate materials	Moisture content (%)	L	a	b	ΔE
Rice	20.0	85.82 ± 0.07	-1.29 ± 0.01	13.58 ± 0.03	12.33 ± 0.04
	22.5	85.48 ± 0.87	-1.52 ± 0.01	11.37 ± 0.17	11.08 ± 0.56
	25.0	86.26 ± 0.15	-1.55 ± 0.02	10.87 ± 0.03	10.17 ± 0.10
	27.5	87.22 ± 0.02	-1.41 ± 0.03	10.32 ± 0.02	9.07 ± 0.02
	30.0	86.15 ± 0.01	-1.53 ± 0.01	12.49 ± 0.01	11.33 ± 0.01
	Raw	94.14 ± 0.02	-0.62 ± 0.10	4.51 ± 0.13	
Wheat	20.0	81.90 ± 0.02	-2.20 ± 0.02	9.22 ± 0.03	12.28 ± 0.02
	22.5	75.81 ± 0.25	-2.06 ± 0.02	6.68 ± 0.09	18.15 ± 0.25
	25.0	76.81 ± 0.11	-2.22 ± 0.01	7.43 ± 0.04	17.16 ± 0.11
	27.5	80.34 ± 0.26	-2.62 ± 0.09	10.43 ± 0.03	14.10 ± 0.25
	30.0	82.00 ± 0.03	-2.52 ± 0.02	11.31 ± 0.01	12.77 ± 0.04
	Raw	93.94 ± 0.36	-1.12 ± 0.05	7.00 ± 0.05	
Corn	20.0	82.41 ± 0.01	-3.08 ± 0.02	44.35 ± 0.01	10.42 ± 0.01
	22.5	82.06 ± 0.14	-2.93 ± 0.03	42.80 ± 0.12	9.30 ± 0.02
	25.0	82.40 ± 0.18	-3.08 ± 0.03	43.60 ± 0.05	9.79 ± 0.09
	27.5	82.78 ± 0.07	-2.79 ± 0.03	42.82 ± 0.24	8.89 ± 0.24
	30.0	82.82 ± 0.01	-2.71 ± 0.05	41.05 ± 0.01	7.45 ± 0.01
	Raw	87.53 ± 0.19	-1.33 ± 0.03	35.45 ± 0.37	
Barley	20.0	65.31 ± 0.01	2.38 ± 0.03	17.68 ± 0.01	20.30 ± 0.01
	22.5	65.78 ± 0.02	2.37 ± 0.01	17.13 ± 0.01	22.66 ± 0.02
	25.0	66.31 ± 0.02	2.88 ± 0.01	16.91 ± 0.01	22.13 ± 0.01
	27.5	68.60 ± 0.01	2.71 ± 0.01	17.68 ± 0.01	20.38 ± 0.01
	30.0	66.83 ± 0.02	2.51 ± 0.01	16.49 ± 0.02	21.46 ± 0.02
	Raw	86.60 ± 0.03	0.80 ± 0.04	8.32 ± 0.10	
Oat	20.0	72.02 ± 0.01	1.59 ± 0.03	19.46 ± 0.01	17.88 ± 0.00
	22.5	70.63 ± 0.01	1.78 ± 0.01	18.40 ± 0.01	18.45 ± 0.01
	25.0	71.30 ± 0.01	1.48 ± 0.01	18.47 ± 0.01	17.90 ± 0.01
	27.5	71.55 ± 0.02	1.06 ± 0.01	17.42 ± 0.01	17.12 ± 0.01
	30.0	73.28 ± 0.01	0.75 ± 0.01	14.84 ± 0.02	14.38 ± 0.00
	Raw	86.31 ± 0.40	0.55 ± 0.10	8.76 ± 0.70	

0.01로 원료에 비해 색도 변화가 크게 나타났고, 옥수수가 10.42 ± 0.01 로 원료에 비해 가장 낮게 나타났다. Altan 등(27)의 보고에 의하면 스크루 회전속도와 배럴온도에 의하여 온도가 변화할수록 갈변 반응이 증가하여 색도 변화가 크다는 결과와 일치하였고, de Cindio 등(28)의 보고에 따르면 열을 가한 공정에서 전분 내 유리 아미노기가 환원당과 결합하여 마이야르 반응에 의해 전분이 갈색으로 변한다고 보고하였다. 그리고 수분함량이 증가함에 따라 색도 변화 폭이 낮아지는 것을 알 수 있었으며 Table 1에서 알 수 있듯이 원료의 구성성분에 따라 색도 변화에 차이가 있는 것으로 사료된다.

요 약

곡류식품의 소재 개발을 위하여 수분함량을 달리하여 처리한 후 압출성형 곡류가루의 일반성분, 팽화율, 비겉이, 밀도, 파괴력, 겉보기 탄성계수, 수분흡착지수와 수분용해지수, 비기계적 에너지 투입량, 페이스트 점도, 색도를 측정하였다. 압출성형 조건은 배럴온도 130°C , 원료투입량 120 g/min , 수분함량(20, 22.5, 25, 27.5, 30%)으로 압출성형 하였다. 수분함량 20%일 때 압출성형 곡류가루의 팽화율이 가장 높았으며, 밀도와 파괴력이 가장 낮았다. 수분함량이 증가할수록 수분흡착지수는 증가하였고, 수분용해지수는 수분함량이 낮을수록 높은 경향을 나타내었다. 비기계적 에너지 투입량은 낮은 수분함량일 때 옥수수가루가 가장 높았으며, 귀리가루는 높은 수분함량에서 가장 낮은 값을 나타내었다. 수분함량이 증가할수록 페이스트 점도가 증가하는 경향을 보였으며, 명도는 압출성형 쌀가루가 가장 밝게 측정되었고 압출성형 보리가루가 가장 어둡게 측정되었으며, 총 색도 변화는 원료를 기준으로 보리가 가장 크게 나타났다.

문 헌

- Guha M, Ali SZ. 2006. Extrusion cooking of rice: effect of amylose content and barrel temperature on product profile. *J Food Process Preserv* 30: 706-716.
- Lee MS. 2004. Bioactive properties in whole grain. *Food Indus Nutr* 9: 19-25.
- Gu BJ, Norajit K, Ryu GH. 2010. Physicochemical properties of extruded defatted hemp seed and its energy bar manufacturing. *Food Eng Prog* 14: 127-134.
- Jin T, Lee ES, Hong ST, Ryu GH. 2007. Manufacturing of goami flakes by using extrusion process. *Korean J Food Sci Technol* 39: 146-151.
- Ryu GH. 2003. Texturization of plant protein by using extrusion process. *Food Eng Prog* 7: 73-79.
- 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.
- Sim YJ, Jung BM, Rhee KC. 2001. Quality characteristic of extruded formulated products prepared from blends of rice flour, wheat flour and fish muscle by single-screw extrusion. *Korean J Food Sci Technol* 33: 45-49.
- Ryu GH, Kang SH, Lee EY, Lim ST. 1997. Effect of CO_2 gas injection on properties of extruded corn starch. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 26: 436-442.
- Liu Y, Hsieh E, Heymann H, Huff HE. 2000. Effect of process conditions on the physical and sensory properties of extruded oat-corn puff. *J Food Sci* 65: 1253-1259.
- 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.
- 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.
- AACC International. 1999. *Approved Methods of Analysis*. 11th ed. Method 08-01, 30-25, 46-10, 56-20. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA.
- Ryu GH, Ng PKW. 2001. Effects of selected process parameters on expansion and mechanical properties of wheat flour and whole cornmeal extrudates. *Starch/Stärke* 53: 147-154.
- Alvarez-Martinez L, Kondury KP, Harper JM. 1988. A general model for expansion of extruded products. *J Food Sci* 53: 609-615.
- Barrett AH, Peleg M. 1992. Extrudate cell structure-texture relationships. *J Food Sci* 57: 1253-1257.
- RVA Manual. 1995. RVA-3 series operation manual using Dos thermocline software. Newport scientific, Narrabeen, Australia.
- Majzoubi M, Farahnaky A. 2010. Comparison of the effects of extrusion cooking on some cereal starches. *Int J Food Eng* 6, DOI: 10.2202/1556-3758.1456
- We GJ, Lee I, 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.
- Ryu GH, Lee CH. 1988. Effects of moisture content and particle size of rice flour on the physical properties of the extrudate. *Korean J Food Sci Technol* 20: 463-469.
- Hagenimana A, Ding X, Fang T. 2006. Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. *J Cereal Sci* 43: 38-46.
- Jin T, Park HY, Ryu GH. 2005. Characteristics of cereals prepared by extrusion-cooking and freeze-drying. *Korean Food Sci Technol* 37: 757-762.
- Chinnaswamy R, Hanna MA. 1990. Macromolecular and functional properties of native and extrusion-cooked corn starch. *Cereal Chem* 67: 490-499.
- Jackson DS, Gomez MH, Waniska RD, Rooney LW. 1990. Effects of single-screw extrusion cooking on starch as measured by aqueous high-performance size-extrusion chromatography. *Cereal Chem* 67: 529-532.
- Svihus B, Uhlen AK, Harstad OM. 2005. Effect of starch granule structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch: A review. *Anim Feed Sci Technol* 122: 303-320.
- Chaudhary AL, Miler M, Torley PJ, Sopade PA, Halley PJ. 2008. Amylose content and chemical modification effects on the extrusion of thermoplastic starch from maize. *Carbohydr Polym* 74: 907-913.
- Holguín-Acuña AL, Carvajal-Millán E, Santana-Rodríguez V, Rascón-Chu A, Márquez-Escalante JA, Ponce de León-Renova NE, Gastelum-Franco G. 2008. Maize bran/oat flour extruded breakfast cereal: A novel source of complex polysaccharides and an antioxidant. *Food Chem* 111: 654-657.
- Altan A, McCarthy KL, Maskan M. 2008. Extrusion cooking of barley flour and process parameter optimization by using response surface methodology. *J Sci Food Agric* 88: 1648-1659.
- de Cindio B, Gabriele D, Pollini CM, Peressini D, Sensidoni A. 2002. Filled snack production by co-extrusion-cooking: 2. Effect of processing on cereal mixtures. *J Food Eng* 54: 63-73.

(2012년 7월 27일 접수; 2012년 9월 3일 채택)