

유화제 첨가에 따른 차전자피 압출성형물의 물리적 특성

이정원 · 류기형*

공주대학교 식품공학과, 식품 및 사료 압출성형 연구센터

Effects of Emulsifier Additions on the Physical Properties of Extruded Psyllium

Jung Won Lee and Gi Hyung Ryu*

Department of Food Science and Technology, Kongju National University,
Food & Feed Extrusion Research Center, Kongju National University

Abstract

This study aims to investigate the physical properties of extruded psyllium husk upon the addition of emulsifiers. Three different emulsifiers—glycerol monostearate (GMS), polyglycerol ester (PGE), and sugar ester (SE)—were added to the mixture of psyllium husk and rice powder before extrusion. Extrusion was performed using a twin-screw extruder at 140°C die temperature, 200 rpm screw speed, and 16% feed moisture content. The physical properties of psyllium husk extrudates including expansion ratio, specific length, piece density, texture profile, color properties, water soluble index, and water absorption index were evaluated. It was observed that the expansion ratio was the highest while the specific length and piece density were the lowest in the control which had no emulsifiers. Texture profile analysis showed that the apparent elastic modulus and breaking strength were highest in the extrudate with a PGE of 0.1%. The adhesiveness was found to be lowest in the extrudates with an SE of 0.1% and GMS of 0.5%. Lightness value was highest in the extrudate with a PGE of 0.1%. Color difference, water soluble index, and water absorption index were highest in the control. The results reveal that some physical properties of extruded psyllium husk were improved with the addition of emulsifiers. This finding provides useful information for the development of psyllium snacks with good physical characteristics.

Key word: extruded psyllium husk, extruded snack, emulsifier

서 론

최근 경제 성장으로 인한 식생활의 서구화로 육류와 가공식품의 섭취가 증가함에 따라 성인병으로 인한 사망률이 증가되고 있으며 발병연령 또한 낮아지는 추세이다. 이에 따라 기능성 식품들의 개발과 수요가 늘어나고 있고 식이 섬유도 그 중 하나로 주목받고 있다(Jin, 2005). 식이 섬유는 인체의 소화효소로는 분해되지 않는 난분해성 복합다당류로서 과거에는 영양적 가치가 없는 것으로 인식되어 왔지만 저칼로리 소재로는 물론, 변비, 치질, 대장암, 동맥경화, 당뇨, 비만 등의 질병개선효과 등 최근에 다양한 기능이 인정되어 활발한 연구가 진행되고 있다(Park et al., 2017).

차전자피(psyllium husk)는 식이섬유를 다량 함유하고 있

으며 질경이과에 속하는 다년생 초본 식물의 껍질로 전국 각지의 들이나 길가에 자생하고 있고, 주요 성분으로는 다량의 점액질, 지방질, aucubin, galactan, polysaccharide, succinic acid 등이 알려져 있다(Hong et al., 2002). 차전자피는 다량의 점액질을 함유하고 있어 물과 결합하여 젤라틴을 형성하므로 일반적으로 물이나 음료에 섞는 방식으로 섭취된다. 쿠키와 스낵에 차전자피의 첨가가 섭취에 유용한 방법이지만 이러한 시도는 차전자피의 점액 성분과 바람직하지 않은 향 때문에 제품화에 문제가 있다(Devay, 2001).

식품에서 유화제는 물과 기름의 에멀전을 안정화시키며 지방 결정의 특성을 변화 시키고 반죽의 균기와 끈적거림의 조절, 전분, 단백질 및 당 복합체의 겔 형성 등 물성을 개선하는 역할을 한다(Bok et al., 2007). 현재 유화제에 관한 연구로는 쌀 쿠키에 유화제의 첨가가 물성 개선에 효과적이라고 하였고(Lee et al., 2012) 쌀빵의 노화를 지연시킨다고 하였다(Lee et al., 2008). 찹쌀떡의 제조에서는 유화제의 첨가가 찹쌀떡의 경화 억제에 효과적이라고 보고하였다(Park et al., 2012).

압출성형공정은 연속공정으로 시간, 에너지, 비용 등을

*Corresponding author: Gi Hyung Ryu, Department of Food Science and Technology, Kongju National University, Yesan, Chungnam, 32439, Korea.
Tel: +82-10-8880-0906
E-mail: ghryu@kongju.ac.kr
Received April 22, 2019; revised May 15, 2019; accepted May 16, 2019

최소화할 수 있고, 고온에서 단시간에 처리하기 때문에 스낵 제조에 용이하다(Kim et al., 2012). 특히 섬유소가 많이 포함된 곡류나 식물성 소재는 압출성형공정을 통해 고온과 고압에 의한 성분변화와 섬유소의 구성성분인 식물세포벽의 과열로 인하여 수용성 식이섬유의 용출이 용이한 공정이다(Ryu, 2005). 이러한 압출성형공정에서 유화제는 아밀로오스 복합체를 형성하고 용융물의 윤활제 역할을 한다. 그 결과 압출성형물의 텍스처, 셀 분포 및 밀도에 영향을 미치며(Ryu et al., 1994) 친수·친유의 정도(hydrophilic-lipophilic balance)와 구조 등에 따라 제품의 물성이 달라진다(Ryu & Mulvany, 1995). 쌀, 옥수수, 수수, 감자 등 기타 곡류를 원료로 한 압출성형 스낵의 연구들은 많이 보고되어 있으나(Kee et al., 2001) 유화제의 첨가를 통한 차전자피 압출성형 스낵의 연구는 진행되지 않았다.

따라서 본 연구는 차전자피와 쌀가루를 기본 원료로 하여 glycerol monostearate (GMS), polyglycerol ester (PGE), sugar ester (SE)를 첨가한 차전자피 압출성형물의 물리적 특성을 살펴보고자 한다.

재료 및 방법

재료

차전자피 분말은 (주)메디안바이오(Seoul, Korea)에서 제공받아 사용하였고 쌀가루는 신통정미소(Asan, Korea)에서 정미한 쌀을 사용하였으며, 현미가루와 보리가루는 (주)맑은들(Honsung, Korea)에서 구입하여 사용하였다. 유화제는

glycerol monostearate (NamYung Commercial, Co. Ltd., Seoul, Korea), polyglycerol ester와 sugar ester (RYOTO, Tokyo, Japan)를 구입하여 사용하였다.

압출성형공정

본 실험에 사용된 압출성형기는 실험용(THK31T, Incheon Machinery Co., Incheon, Korea)로 스크루 직경은 3 cm, 길이와 직경의 비(L/D ratio)는 23:1이었고, 스크루 배열은 Fig. 1과 같다. 사출구는 원형으로 직경이 3 mm인 것을 사용하였으며, 수분 함량은 펌프로 원료 사입구에 직접 물을 주입하여 조절하였다. 용융물의 온도는 전열기와 냉각수를 사용하여 조절하였다. 유화제 첨가에 따른 차전자피 압출성형물의 물리적 특성을 알아보기 위해 압출성형공정변수는 원료 사입량 100 g/min, 스크루 회전속도 200 rpm, 사출구 온도 140°C, 수분함량 16%로 고정하였다. 압출성형물 원료의 배합비는 Table 1에 나타내었으며 유화제의 첨가량은 예비실험을 통하여 결정하였다. 제조한 압출성형물은 50°C에서 12시간 건조하여 직경팽화율, 비길이, 밀도, 겉보기 탄성계수, 파괴력, 조직감, 미세구조를 측정하였고 가정용 분쇄기(FM-909T, Hanil, Haman, Korea)로 분쇄한 후 50-70 mesh의 분말을 시료로 사용하여 색도, 수분용해지수, 수분흡착지수를 측정하였다.

직경팽화율

압출성형물의 직경팽화율은 압출성형물의 직경을 캘리퍼스(CD-15C, Mitutoyo Co., Tokyo, Japan)로 10회 측정하여

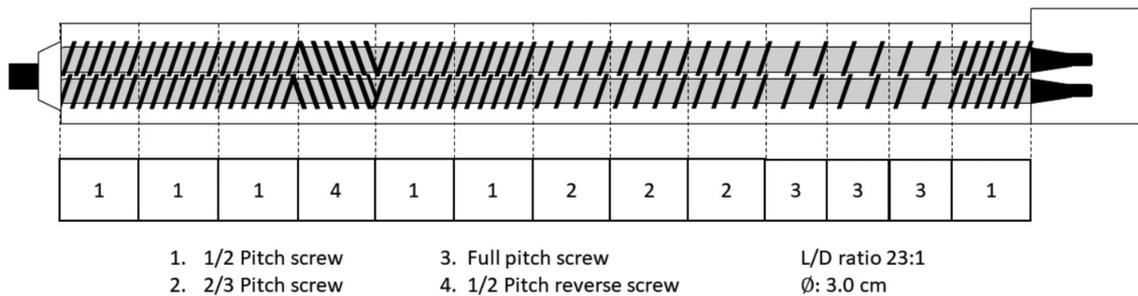


Fig. 1. Screw configuration used in this experiment.

Table 1. Formula for extruded psyllium husk with various emulsifiers

Sample	Ingredient(%)							
	White rice	Psyllium husk	Brown rice	Barley	GMS ¹⁾	PGE ²⁾	SE ³⁾	Stevia
Control	76.0	17	5	1.96	0	0	0	0.04
GMS 0.5%	75.5	17	5	1.96	0.5	0	0	0.04
GMS 1%	75.0	17	5	1.96	1	0	0	0.04
PGE 0.1%	75.9	17	5	1.96	0	0.1	0	0.04
SE 0.1%	75.9	17	5	1.96	0	0	0.1	0.04

¹⁾GMS is glycerol monostearate.

²⁾PGE is polyglycerol ester.

³⁾SE is sucrose ester.

사출구의 직경과 압출 성형물의 직경 비의 평균값으로 산출하였다(Alvarez-Martinez et al., 1988).

비길이

압출성형물의 비길이(specific length)는 일정한 길이로 절단한 압출성형물의 길이와 무게의 비로 10회 측정된 후 식 (1)을 이용하여 평균값과 오차를 구하였다(Kim et al., 2012). 압출성형물의 길이는 캘리퍼스(CD-15C, Mitutoyo Co. Tokyo, Japan)를 이용하였고, 무게는 전자저울(MWII, CAS Co., Gyeonggi, Korea)을 사용하였다.

$$\text{Specific length (cm/g)} = \frac{\text{length of extrudate (cm)}}{\text{weight of extrudate (g)}} \quad (1)$$

조각밀도

압출성형물의 조각밀도는 차조를 이용한 종자 치환법으로 총 10회 반복하여 식 (2)를 이용하여 계산하였다(Jin et al., 2010).

$$P_f = \frac{M}{M + M_0 - M_1} P \quad (2)$$

P_f : piece density of extrudate

P : bulk density of waxy millet

M : mass of waxy millet in 125 mL cup

M_0 : mass of extrudate

M_1 : mass of extrudate and waxy millet in 125 mL cup

겉보기 탄성계수와 파괴력

압출성형물의 겉보기 탄성계수와 파괴력은 레오미터(Sun Rheo-meter, Compac-100II, Sun Sci. Co., Tokyo, Japan)를 사용하여 10회 측정 후 평균값을 산출하였다. 측정조건은 probe angle type (65°C), 최대응력 10 kg, 지지대 이동 속도 60 mm/min, 지지대간의 거리 3 cm였다. Ryu & Ng (2001)의 방법을 이용하여 겉보기 탄성계수(E_{app})와 파괴력(F_{bs})를 각각 식 (3)과 (4)로 계산하였다

$$E_{app} = (\delta F / \delta l)(64d^3 / 48\pi D^4) \quad (3)$$

E_{app} : apparent elastic modulus

$\delta F / \delta l$: slope of the linear section of the force-distance curve

D : diameter of extrudate

d : distance between two supports

$$F_{bs} = F_m / S \quad (4)$$

F_{bs} : breaking strength (N/m²)

F_m : maximum stress of extrudate

S : cross-sectional area of extrudate

조직감

수화된 압출성형물의 경도(hardness)와 부착성(adhesiveness) 분석을 위해 레오미터(Sun Rheo-meter, Compac-100 II, Sun Sci. Co., Tokyo, Japan)를 사용하여 Bourne (1978)의 분석방법에 따라 10회씩 측정하여 평균값을 나타내었다. 직경 2.5 cm인 탐침 1번으로 측정하였고 측정조건은 최대응력 10 kg, 지지대 이동속도 60 mm/min 였다. 경도와 부착성 측정을 위한 시료의 전 처리는 1.5 cm로 자른 압출성형물을 36.5°C의 물에 1분 30초 수화시켜 15초간 물을 제거하였다.

색도

압출성형물을 분쇄한 시료를 색차계(Chroma Meter CR-300, Minolta Co., Ltd., Osaka, Japan)를 이용하여 명도(lightness, L), 적색도(redness, a), 황색도(yellowness, b) 값을 3회 측정된 평균값으로 나타내고 식 (8)로 색차도(color difference, ΔE) 값을 나타내었다. 표준 색판의 값은 $L = 96.59$, $a = 0.96$, $b = 2.54$ 였다.

$$\Delta E = \sqrt{(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2} \quad (6)$$

L : lightness

a : redness

b : yellowness

L_0 : raw material of lightness

a_0 : raw material of redness

b_0 : raw material of yellowness

수분용해지수와 수분흡착지수

압출성형물 분말의 수화특성을 분석하기 위하여 AACC (1983)의 방법을 응용하여 건량 기준으로 시료 1.5 g에 증류수 30 mL를 가하여 30°C의 항온 수조(BF-45SB, Biofree Co., Seoul, Korea)에서 30분간 교반한 후 원심분리기(H-1000-3, Hanil Science Industrial Co., Gangneung, Korea)에서 2000×g으로 20분간 원심분리 하였다. 상층액은 알루미늄 접시에 부은 후 침전물의 무게를 측정하고 알루미늄 접시를 105°C의 열풍건조기(HB-502MP, Han Beak Co., Bucheon, Korea)에서 2시간 동안 건조하여 상층액의 고형분 함량을 측정하여 수분용해지수(water soluble index, WSI)와 수분흡착지수(water adsorption index, WAI)를 각각 식 (7)와 (8)로 계산하였다.

$$\text{WSI(\%)} = \frac{\text{dry solid wt. recovered by evaporating the supernatant}}{\text{dry sample wt.}} \times 100 \quad (7)$$

$$\text{WAI(g/g)} = \frac{\text{hydrated sample wt.} - \text{dry sample wt.}}{\text{dry sample wt.}} \quad (8)$$

미세구조

차전자피 압출성형물을 80°C에서 12시간 건조시킨 후 알루미늄 판에 접착하여 압출성형물의 단면을 백금으로 코팅 후 고분해능 주사전자현미경(MIRA LMH, Tescan, Brno, Czech)으로 가속전력 10 kV에서 13배율로 미세 구조를 관찰하였다.

통계처리

결과의 통계처리는 SPSS version 23.0 (IBM-SPSS, Thornwood, NY, USA)을 이용하여 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)을 실시한 후 유의적 차이가 있는 항목에 대해서 $p < 0.05$ 수준에서 그 결과를 Duncan's multiple range test로 검정하였다.

결과 및 고찰

팽화특성

압출성형물의 직경팽화율, 비길이, 조각밀도는 압출성형물의 조직감에 영향을 미치는 인자로 압출성형물의 품질을 결정하는 데 중요하다(Gu et al., 2010). 유화제 첨가에 따른 차전자피 압출성형물의 직경팽화율, 비길이, 조각밀도는

Table 2. Expansion properties of extruded psyllium husk with various emulsifiers

Sample ¹⁾	Expansion ratio	Specific length (cm/g)	Density (g/cm ³)
Control	4.71±0.17 ^{a,d)}	3.06±0.18 ^c	0.13±0.01 ^d
GMS ¹⁾ 0.5%	3.52±0.08 ^c	6.14±0.34 ^a	0.15±0.01 ^b
GMS 1%	4.04±0.11 ^c	5.40±0.41 ^b	0.14±0.01 ^c
PGE ²⁾ 0.1%	3.73±0.05 ^d	4.87±0.32 ^c	0.15±0.01 ^a
SE ³⁾ 0.1%	4.28±0.14 ^b	4.37±0.16 ^d	0.14±0.01 ^c
<i>F</i> -value	139.73 ^{***}	119.54 ^{***}	24.03 ^{***}

*** $p < 0.01$

¹⁾GMS is glycerol monostearate.

²⁾PGE is polyglycerol ester.

³⁾SE is sucrose ester.

⁴⁾Means with different letters within a column are significantly different ($p < 0.05$) by Duncan's multiple range test.

Table 3. Apparent elastic modulus and breaking strength, texture of extruded psyllium husk with various emulsifiers

Sample	Apparent elastic modulus (N/m ²)	Breaking strength (N/cm ²)	Hardness (kg)	Adhesiveness (g)
Control	1.36E+04 ^{a,b,d)}	12.43±5.92 ^{ab}	21.06±2.18 ^a	-36.00±5.48 ^b
GMS ¹⁾ 0.5%	2.40E+04 ^{ab}	10.47±2.32 ^b	11.97±1.37 ^d	-24.00±5.48 ^a
GMS 1%	1.12E+04 ^b	11.20±3.42 ^{ab}	13.63±2.27 ^d	-28.00±8.34 ^{ab}
PGE ²⁾ 0.1%	2.61E+04 ^a	15.20±3.55 ^a	15.97±2.33 ^c	-26.00±5.48 ^a
SE ³⁾ 0.1%	1.94E+04 ^{ab}	12.65±3.25 ^{ab}	18.75±1.69 ^b	-24.00±5.58 ^a
<i>F</i> -value	2.34*	1.55*	27.20**	3.26**

* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$

¹⁾GMS is glycerol monostearate.

²⁾PGE is polyglycerol ester.

³⁾SE is sucrose ester.

⁴⁾Means with different letters within a column are significantly different ($p < 0.05$) by Duncan's multiple range test.

Table 2에 나타내었다.

직경팽화율은 유화제를 첨가하지 않은 대조군에서 4.71±0.17로 가장 높은 값을 나타내었고 GMS 0.5% 첨가군에서 3.52±0.08로 가장 낮은 값을 나타내었다. 이는 유화제가 전분입자를 감싸 전분입자 내부로 수분의 침투를 막아 직경팽화가 덜 일어나는 것으로 판단된다(Ryu & Mulvany, 1995).

비길이에서는 GMS 0.5% 첨가군에서 6.14±0.34 cm/g로 가장 높았고 대조군에서 3.06±0.18 cm/g로 가장 낮아 직경팽화율과 음의 상관관계를 보였다.

밀도는 GMS 0.5%와 PGE 0.1% 첨가군에서 0.15±0.01 g/cm³로 가장 높은 값을 나타내었고 대조군에서 0.13±0.01 g/cm³로 가장 낮은 값을 나타내어 비길이와 같은 패턴을 보였다. 이는 쌀의 압출성형공정에서 GMS를 첨가하면 GMS-아밀로오스 복합체의 형성에 의해 밀도가 증가한다는 연구결과와 같이(Charutigon et al., 2008; Ryu & Mulvany, 1995) 본 실험에서도 유화제를 첨가한 차전자피 압출성형물의 밀도가 증가하였다.

겉보기 탄성계수와 파괴력

겉보기 탄성계수와 파괴력은 팽화율, 밀도, 기공 구조에 영향을 받으며 압출성형물의 품질을 결정하는 중요한 인자다(Gu et al., 2010). 유화제 첨가에 따른 차전자피 압출성형물의 겉보기 탄성계수와 파괴력의 값은 Table 3과 같다.

겉보기 탄성계수는 PGE 0.1% 첨가군에서 2.61E+04 N/m²로 가장 높은 값을 나타내었으며 GMS 1% 첨가군에서 1.12E+04 N/m²로 가장 낮은 값을 나타내었다. 대조군에서 겉보기 탄성계수가 감소한 것은 직경팽화율의 증가로 인하여 압출성형물의 기공 구조가 커져 입자 층의 조밀도가 감소하였기 때문으로 생각된다(Cho et al., 2017). 파괴력은 PGE 0.1% 첨가군에서 15.20±3.55 N/cm²로 가장 높았고 GMS 0.5% 첨가군에서 10.47±2.32 N/cm²로 가장 낮았다.

조직감

유화제 첨가에 따른 수화시킨 차전자피 압출성형물의 경

도와 부착성은 Table 3에 나타내었다. 경도는 대조군에서 21.06 ± 2.18 kg으로 가장 높은 값을 나타내었으며 GMS 0.5% 첨가군에서 11.97 ± 1.37 kg으로 가장 낮은 값을 나타내었다. 이는 유화제의 첨가가 전분의 팽창을 제한하여 미세한 기공구조를 형성하기 때문에 차전자피 압출성형물의 경도를 감소시키는 것으로 생각된다(Ryu & Mulvany, 1995).

부착성은 대조군에서 -36.00 ± 5.48 g으로 가장 높은 값을 나타내었고 GMS 0.5%와 SE 0.1% 첨가군에서 -24.00 ± 5.48 g, -24.00 ± 5.58 g으로 가장 낮은 값을 나타내었지만 유화제 첨가군 사이에서 유의적인 차이가 없었다. 이는 쌀 압출성형물에서 유화제가 전분의 아밀로오스와 복합체를 형성하여 물 결합능력을 감소시켰다는 Wang et al. (2013)의 연구 결과를 볼 때 아밀로오스 복합체가 차전자피 압출성형물의 겔화를 억제하여 부착성을 감소시키는 것으로 판단된다. 또한 유화제가 옥수수가루 압출성형물의 점도를 감소시켰다는 Ryu & Mulvany (1995)의 연구결과에 따라 유화제의 첨가가 차전자피 압출성형물의 점도에도 영향을 미쳐 부착성을 감소시키는 것으로 사료된다.

색도

유화제 첨가에 따른 차전자피 압출성형물의 명도(L), 적색도(a), 황색도(b) 값은 Table 4와 같다. 압출성형물의 명도는 PGE 0.1% 첨가군에서 72.44 ± 0.18 로 가장 높았고 대조군에서 60.48 ± 0.21 로 가장 낮았다. 이는 유화제의 첨가가 쌀 압출성형물의 명도를 높여준다는 Koh (1992)의 연구결과와 일치하여 유화제의 첨가가 차전자피 압출성형물

의 명도를 높여주는 것으로 생각된다. 압출성형 무처리군보다 압출성형물의 명도가 낮게 측정된 것은 압출성형 공정 중 발생하는 Maillard reaction에 의한 갈변반응이 원인인 것으로 판단된다(Tie et al., 2012). 적색도는 GMS 1% 첨가군에서 1.85 ± 0.29 로 가장 높았고 SE 0.1% 첨가군에서 1.03 ± 0.11 로 가장 낮았다. 황색도는 GMS 1% 첨가군에서 19.30 ± 0.70 로 가장 높았고 PGE 0.1% 첨가군에서 17.61 ± 0.09 로 가장 낮았다. 총 색도차는 대조군에서 31.52 ± 0.16 로 가장 높은 값을 나타내었고 GMS 0.5% 첨가군에서 16.69 ± 0.22 로 가장 낮은 값을 나타내었다. 이는 쌀 압출성형 공정에서 유화제의 첨가가 압출성형물의 총 색도차를 감소시킨다는 Koh (1992)의 연구결과와 같이 본 실험에서도 유화제의 첨가가 차전자피 압출성형물의 총 색도차를 감소시켰다.

수분용해지수와 수분흡착지수

유화제 첨가에 따른 차전자피 압출성형물의 수분용해지수와 수분흡착지수는 Table 5에 나타내었다. 압출성형 무처리군보다 압출성형물의 수분용해지수와 수분흡착지수가 높은 경향을 보였다. Tie et al. (2012)는 곡류에 포함된 전분의 호화와 압출성형공정 동안 사슬의 절단 등에 의해 아밀로펙틴과 아밀로오스의 분획화로 인하여 수분용해지수와 수분흡착지수가 증가한다고 하였다. 수분용해지수는 대조군에서 $41.73 \pm 0.48\%$ 로 가장 높은 값을 나타내었고 GMS 1% 첨가군에서 $15.35 \pm 0.49\%$ 로 가장 낮은 값을 나타내었다. 쌀 압출성형물에서 유화제의 첨가가 수분용해지수를 감소시켰다는 Wang et al. (2013)의 연구결과와 같이 본 실험에서

Table 4. Color of extruded psyllium husk with various emulsifiers

Sample	Color			
	L	a	b	ΔE
Control	$60.48 \pm 0.21^{g5)}$	1.32 ± 0.10^b	18.69 ± 0.06^b	31.52 ± 0.16^a
Raw ⁴⁾	89.50 ± 0.04^b	-0.72 ± 0.13^c	6.56 ± 0.05^f	
GMS ¹⁾ 0.5%	72.02 ± 0.23^c	1.67 ± 0.09^a	18.57 ± 0.05^b	16.69 ± 0.22^e
Raw	86.53 ± 0.10^c	-1.83 ± 0.04^g	11.03 ± 0.10^d	
GMS 1%	68.57 ± 1.69^f	1.85 ± 0.29^a	19.30 ± 0.70^a	24.20 ± 1.84^b
Raw	89.71 ± 0.34^{ab}	-1.18 ± 0.08^f	7.89 ± 0.22^e	
PGE ²⁾ 0.1%	72.44 ± 0.18^d	0.54 ± 0.06^d	17.61 ± 0.09^e	19.60 ± 0.19^d
Raw	89.56 ± 0.12^b	-1.21 ± 0.06^f	8.31 ± 0.12^e	
SE ³⁾ 0.1%	71.97 ± 0.07^e	1.03 ± 0.11^c	18.40 ± 0.08^b	20.78 ± 0.11^c
Raw	89.88 ± 0.12^a	-1.26 ± 0.02^f	8.29 ± 0.06^e	
<i>F</i> -value	13074.35***	400.77***	1512.01***	2150.32***

*** $p < 0.01$

¹⁾GMS is glycerol monostearate.

²⁾PGE is polyglycerol ester.

³⁾SE is sucrose ester.

⁴⁾Raw material before extrusion.

⁵⁾Means with different letters within a column are significantly different ($p < 0.05$) by Duncan's multiple range test.

Table 5. Water solubility index, water absorption index of extruded psyllium husk with various emulsifiers

Sample	Water solubility index (%)	Water absorption index (g/g)
Control	$41.73 \pm 0.48^{a5)}$	8.09 ± 0.05^{ab}
Raw ⁴⁾	1.96 ± 0.07^{gh}	7.88 ± 0.07^b
GMS ¹⁾ 0.5%	21.25 ± 0.32^d	6.66 ± 0.10^d
Raw	1.61 ± 0.17^h	8.21 ± 0.09^a
GMS 1%	15.35 ± 0.49^e	7.09 ± 0.10^c
Raw	3.30 ± 0.23^f	5.90 ± 0.07^e
PGE ²⁾ 0.1%	22.78 ± 1.71^c	6.10 ± 0.25^e
Raw	3.01 ± 0.50^{gh}	6.52 ± 0.08^d
SE ³⁾ 0.1%	24.17 ± 0.88^b	6.59 ± 0.37^d
Raw	4.08 ± 0.08^f	6.02 ± 0.05^e
<i>F</i> -value	1176.11***	91.80***

*** $p < 0.01$

¹⁾GMS is glycerol monostearate.

²⁾PGE is polyglycerol ester.

³⁾SE is sucrose ester.

⁴⁾Raw material before extrusion.

⁵⁾Means with different letters within a column are significantly different ($p < 0.05$) by Duncan's multiple range test.

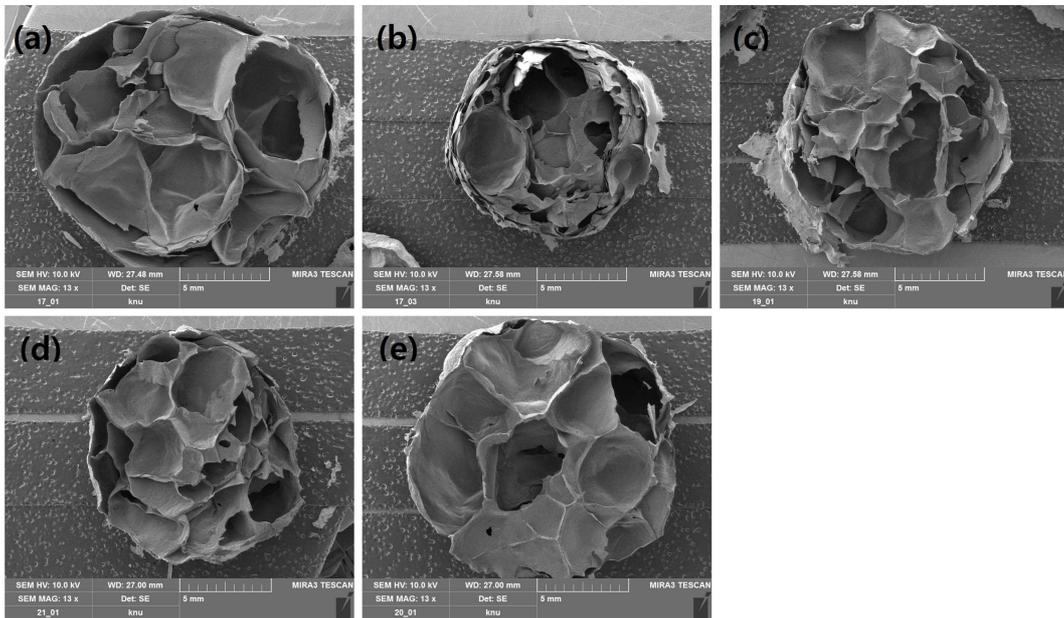


Fig. 2. Scanning electron micrographs of cross-sections of extruded psyllium husk with emulsifiers: (a) Control, (b) GMS 0.5%, (c) GMS 1%, (d) PGE 0.1%, (e) SE 0.1%.

도 유화제의 첨가가 차전자피 압출성형물의 수분용해지수를 감소시켰다. 수분흡착지수는 대조군에서 8.09 ± 0.05 g/g으로 가장 높은 값을 나타내었고 PGE 0.1% 첨가군에서 6.10 ± 0.25 g/g으로 가장 낮은 값을 나타내었다. 이는 유화제가 전분입자를 감싸 전분입자 내부로 수분의 침투를 아밀로오스 복합체를 형성하여 전분의 물 결합 능력을 감소시킨다는 Ryu & Mulvany (1995)의 연구 결과를 볼 때 압출성형물의 물 결합능력이 차전자피 압출성형물의 부착성에도 영향을 미치는 것으로 생각된다.

미세구조

유화제 첨가에 따른 차전자피 압출성형물의 기공구조는 Fig. 2와 같다. 압출성형 공정 동안 생성되는 기공은 점도에 의하여 저항하는 공기압력과 기공 안에서 성장하는 기공 사이의 압력 차에 의하여 형성된다(Eun et al., 2014). 대조군에서 팽화의 증가에 의해 기공의 크기가 증가하였으며 GMS 0.5% 첨가군에서 팽화의 감소에 의해 기공의 크기가 감소하였다. 유화제가 전분의 아밀로오스와 복합체를 형성하여 쌀 압출성형물의 팽창을 제한한다는 Ryu & Mulvany (1995)의 연구결과에 따라 유화제의 첨가가 차전자피 압출성형물의 기공 크기를 감소시키는 것으로 판단된다. 이는 유화제를 첨가한 쌀 압출성형물에서 미세한 기공이 형성되었다는 연구결과와 일치하였다(Koh, 1992).

본 실험에서 기공의 크기가 클수록 압출성형물의 경도가 증가하여 딱딱한 조직감을 나타내었으나 기공의 크기가 작을수록 경도가 낮아 부드러운 조직감을 나타내었고 수분흡수력이 낮아 부착성을 감소시켰다.

요 약

본 연구는 쌀과 차전자피를 기본 원료로 하여 glycerol monostearate (GMS), polyglycerol ester (PGE), sugar ester (SE)를 첨가한 압출성형물의 물리적 특성을 살펴보았다. 압출성형 공정변수는 원료 사입량 100 g/min, 스크루 회전속도 200 rpm, 사출구 온도 140°C, 수분함량 16%로 조절하였다. 압출성형 후 직경팽화율, 비길이, 밀도, 겉보기 탄성계수, 파괴력, 조직감, 색도, 수분용해지수, 수분흡착지수, 미세구조를 측정하였다. 직경팽화율은 대조군에서 4.71 ± 0.17 로 가장 높았고 GMS 0.5% 첨가군에서 3.52 ± 0.08 로 가장 낮았다. 비길이와 밀도는 대조군에서 가장 낮았다. 겉보기 탄성계수와 파괴력은 PGE 0.1% 첨가군에서 $2.61E+04$ N/m², 15.20 ± 3.55 N/cm²로 가장 높았으며 대조군에서 $1.36E+04$ N/m², GMS 0.5% 첨가군에서 10.47 ± 2.32 N/cm²로 가장 낮았다. 부착성은 대조군에서 -36.00 ± 5.48 g으로 가장 높았고 GMS 0.5%와 SE 0.1% 첨가군에서 -24.00 ± 5.48 g, -24.00 ± 5.58 g으로 가장 낮았지만 유화제 첨가군 사이에서 유의적인 차이가 없었다. 색도는 유화제 첨가군에서 명도가 증가하는 경향을 보였고 총 색도차는 감소하였다. 수분용해지수와 수분흡착지수는 대조군에서 $41.73 \pm 0.48\%$, 8.09 ± 0.05 g/g으로 가장 높았다. 미세구조는 대조군에서 기공의 크기가 가장 컸으며 유화제 첨가군에서 더 작은 기공 조직을 나타내었다. 차전자피 압출성형물에서 유화제의 첨가는 기공의 크기와 경도를 감소시켜 부드러운 조직감을 나타내었고 수분용해지수, 수분흡착지수, 부착성을 감소시켜 차전자피 압출성형물의 물성을 조절할 수 있는 것을 확인하였다.

감사의 글

본 연구결과는 2018년도 농림축산식품부에서 시행한 농생명산업기술개발사업(118032022HD030)에 의하여 수행된 연구결과의 일부로 연구비 지원에 감사드립니다.

References

- AACC. 1983. Approved method of the AACC. Method 56-20. American Association of Cereal Chemist, St. Paul, MN, USA.
- Alvarez-Martinez L, Kondury KP, Harper JM. 1988. A general model for expansion of extruded products. *J. Food Sci.* 53: 609-615.
- Bok JH, Hwang SY, Lee JH. 2007. Effect of commercial multi-emulsifiers on rheological properties of cake flour. *Culinary Science & Hospitality Research.* 13: 158-165.
- Bourne MC. 1978. Texture profile analysis. *Food Technol.* 32: 62-66.
- Charutigon C, Jitpupakdree J, Namsree P, Rungsardthong V. 2008. Effects of processing conditions and the use of modified starch and monoglyceride on some properties of extruded rice vermicelli. *LWT.* 41: 642-651.
- Chinnaswamy R, Hanna MA. 1990. Macromolecular and functional properties of native and extrusion-cooked cornstarch. *Cereal Chem.* 67: 490-499.
- Cho SY, Jeong DH, Ryu GH. 2017. Effect of extrusion process variable on physicochemical properties of extruded rice snack with mealworm. *J. Korean Sci. Technol.* 49: 444-452.
- Devay G. 2001. Psyllium enriched baked snack foods. US Patent NO. 6,248,387.
- Eun JB, Hsieh FH, Choi OJ. 2014. Physicochemical properties of rice-based expanded snacks according to extrusion conditions. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 43: 1407-1414.
- 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.
- Hong SS, Cha JY, Kim DJ. 2002. Effect of psyllium husk, pectin and cellulose on the lipid concentrations and hemobiochemical enzymes in rats. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 31: 808-813.
- Jin SM. 2005. Quality Characteristics of White Bread Added with Sea Tangle Hydrolysate. Master's thesis. Yosu Univ., Yosu, Korea.
- Jin T, Gu BJ, Ryu GH. 2010. Manufacturing of hemp seed flake by using extrusion and mechanical properties of wheat flour and whole cornmeal extrudates. *Food Eng. Prog.* 53: 147-154.
- Kee HJ, Ryu GH, Park YK. 2001. Physical properties of extruded snack made of dried onion and onion pomace. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 30: 64-69.
- Kim CH, Tie J, Rye GH. 2012. Effects of moisture content on physical properties of extruded cereal flours. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 41: 1603-1610.
- Koh KJ. 1992. The Physicochemical properties of rice extrudate by addition of emulsifier(Glycerin fatty acid ester). *J. East Asian Soc. Diet Life.* 2: 277-282.
- Lee JK, Jeong JH, Lim JK. 2012. Effects of emulsifiers on physical properties of rice cookies. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 41: 1565-1570.
- Lee MH, Chang HG, Lee YT. 2008. Effects of enzymes and emulsifiers on the loaf volume and crumb hardness of rice breads. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 37: 761-766.
- Park EM, Kang MJ, Kim HS, Kim DS, Seong JH. 2012. Changes in the texture properties of glutinous rice cake under various concentrations of saccharides and emulsifiers during their storage at 4°C. *J. Korean Food Preserv.* 19: 477-484.
- Park JJ, Kim JE, Yun WB, Lee ML, Choi JY, Song BR, Kim DS, Lee CY, Lee HS, Lim Y, Jung MW, Hwang DY. 2017. Hypolipidemic and hypoinsulinemic effects of dietary fiber from agar in C57BL/6N mice fed a high-fat diet. *J. Korean Life Sci.* 27: 937-944.
- Ryu GH. 2005. Food Extrusion Technology. Kongju Univ., Kongju, Korea. p 3-9.
- Ryu GH, Mulvany SJ. 1995. Cornmeal puffing with CO₂ gas: Effect of sucrose and glyceryl monostearate(GMS). *J. Korean Food Sci. Technol.* 27: 251-256.
- Ryu GH, Neumann PE, Walker CE. 1994. Effects of emulsifiers on physical properties of wheat flour extrudates with and without sucrose and shortening. *Lebensm Wis Technol.* 27: 425-431.
- Ryu GH, Ng PKW. 2001. Effects of selected process parameters on expansion and mechanical properties of wheat flour and whole cornmeal extrudates. *Starke.* 53: 147-154.
- Tie J, Yu JH, Ryu GH. 2012. Effects of moisture content and temperature on physical properties of instant puffed rice snacks. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 41: 846-852.
- Wang JP, An HZ, Jin ZY, Xie ZJ, Zhuang HN, Kim JM. 2013. Emulsifiers and thickeners on extrusion-cooked instant rice product. *J. Food Sci. Technol.* 50: 655-666.