

수분함량과 CO₂ 가스 주입에 따른 분리대두단백 압출성형물의 이화학적 특성

김나영 · 류기형*
공주대학교 식품공학과

Effects of Moisture Content and CO₂ Gas Injection on Physicochemical Properties of Extruded Soy Protein Isolate

Na Yeong Kim and Gi Hyung Ryu*

Department of Food Science and Technology, Kongju National University

Abstract

The objective of this study was to determine the effect of moisture contents (40, 50, 60%) and CO₂ gas injection (0 and 800 mL/min) on physicochemical properties of extruded soy protein isolate (SPI). The expansion ratio and the specific length increased, but piece density decreased with the increase in CO₂ gas injection from 0 to 800 mL/min at both 40 and 50% moisture contents. On the contrary, the expansion ratio and the specific length decreased, but piece density increased with the increase in CO₂ gas injection from 0 to 800 mL/min at 60% moisture content. Extruded SPI with CO₂ gas injection at 800 mL/min had small cell size and higher amount of cell than extruded SPI without CO₂ gas injection. The water holding capacity and nitrogen solubility index increased, and the integrity index and the texture decreased with the increase in CO₂ gas injection from 0 to 800 mL/min. In conclusion, extruded SPI with the CO₂ gas injection at 800 mL/min showed better expansion properties and cell formation than extruded SPI without the CO₂ gas injection.

Key words: extruded soy protein isolate, CO₂ gas injection, moisture content

서 론

단백질은 다양한 기능성을 지닌 필수아미노산의 공급원으로서 우리 식생활에서 매우 중요하다. 특히 식물성 단백질인 대두 단백질은 카제인 및 유청 단백질과 같은 동물성 단백질보다 에너지 발생을 통해 기초대사량을 증진시키고 포만감 조절에 보다 효과적인 것으로 알려져 왔다. 식물성 단백질을 이용한 식품은 발효식품(간장, 된장 등), 두부, 두유, 식물성 조직화단백(textured vegetable protein, TVP) 등이 있다(Park et al., 2010; Hwang et al., 2015).

TVP는 주로 대두유의 추출 후 생산되는 탈지대두분으로 만들어지는데, 탈지대두분으로 조직화를 시키는 경우에는 대두취가 남아있어 풍미에 문제점이 있고, 조직감을 유지하기 어렵다고 평가되고 있다 (Han et al., 1989a; Kim et

al., 2010). 식물성 단백질을 조직화시킬 때는 단백질의 함량이 높을수록 제품을 더 단단하고 치밀하게 하는데 탈지대두분 대신 농축대두단백(concentrated soy protein, CSP), 분리대두단백(soy protein isolate, SPI)을 이용하면 조직화를 촉진시킬 수 있다(Noguchi et al., 1982). 고기와 유사한 조직감을 가지는 TVP는 대부분 압출성형공정으로 제조되며 압출성형기 내부에서 열에너지에 의해 단백질 변성된 용융물이 사출구를 통과하며 압력의 급격한 저하로 과열증기의 비체적 증가로 팽화가 일어나고 단백질사슬의 결합을 통해 조직이 형성된다(Ryu, 2003). 콩 단백질의 고수분 압출성형에 대하여 분석한 Yanqiang et al. (2014)과 Lin et al. (2002)는 고수분(≥50%) 콩 단백질 압출성형은 저수분(<50%) 압출성형보다 기계적 에너지 감소, 점성의 증가, 지방의 유화, 단백질 구조의 변성 등으로 고품질의 식물성 조직화단백을 생산할 수 있는 유망한 기술이라고 하였다. Park et al. (2016)은 스크루 회전속도, 수분함량과 사출구 온도가 압출성형 분리대두단백의 조직화에 미치는 영향에 대한 보고에서 사출구 온도가 높을수록 압출성형물의 조직화가 촉진된다고 하였다.

CO₂ 가스를 주입한 압출성형공정은 재래식 압출성형공

*Corresponding author: Gi-Hyung Ryu, Department of Food Science and Technology, Kongju National University, Yesan, Choongnam, 32588, Korea

Tel: +82-10-8880-0906; Fax: +82-41-335-5944

E-mail: ghryu@kongju.ac.kr

Received April 20, 2017; revised May 18, 2017; accepted May 19, 2017

정과 비교하여 낮은 온도에서도 팽화가 가능하며 열에 불안정한 영양소의 파괴를 감소시켜 스크루 마모율 감소와 에너지 투입량이 낮아지는 장점이 있다. CO₂ 가스를 주입하는 압출성형공정은 재래식 압출성형공정에서의 기공을 형성시키는 기공형성제로서 물의 상변화에 의한 비체적의 증가와는 달리 압출성형기 내부에 주입된 가스의 비체적은 고압상태에서 낮지만, 사출구를 통하여 대기 중으로 사출되면 압력의 감소에 의해 비체적의 증가가 기공형성제의 역할을 한다(Ryu & Mulvaney, 1997; Gil et al., 2014).

Gil et al. (2014)은 CO₂ 가스 주입에 따른 현미·야채류 압출성형물의 물리적 특성 변화를 연구하였으며 CO₂ 가스를 주입한 60°C의 저온 압출성형 공정으로 야채와 과일 등의 영양성분의 파괴를 감소시키며, 전분의 호화가 적어 생식 압출성형물을 제조하는 적절한 공정으로 판단된다고 하였다. 수수, 보리, 귀리, 현미, 기장에 CO₂ 가스를 주입한 압출성형물의 물리 화학적 특성과 항산화 특성을 연구한 Thin et al. (2016)은 CO₂ 가스의 주입이 압출성형물의 이화학적 특성과 항산화 특성에 영향을 주었으며 저온 압출성형공정은 곡류를 기본으로 한 팽화된 스낵의 생산에 적합하고 압출성형과정에서 열에 민감한 성분들의 파괴를 방지한다고 하였다. 사출구 온도와 CO₂ 가스 주입량이 쌀, 토마토 압출성형물의 이화학적 특성에 미치는 영향에 대해 연구한 An & Ryu (2015)는 사출구 온도 80, 110, 140°C, CO₂ 가스 주입량 0, 300 mL/min으로 압출성형하였을 때 CO₂ 가스 주입량이 팽화 특성 변화에 영향을 미치며 고온일수록 DPPH(2, 2-diphenyl-β-picrylhydrazyl) 라디칼 소거

능 및 총 페놀 함량이 증가되었다고 하였다.

이처럼 채소류나 곡물에 CO₂ 가스를 주입한 압출성형물에 관련된 논문은 많지만 분리대두단백에 CO₂ 가스를 주입한 압출성형물에 관련된 연구는 없는 상태이며 분리대두단백에 CO₂ 가스를 주입한 압출성형물에 관련된 연구가 필요한 실정이다. 따라서 본 연구는 수분함량(40, 50, 60%)과 CO₂ 가스 주입(0, 800 mL/min)이 압출성형 분리대두단백의 조직화에 미치는 영향을 알아보기로 사 비길이와 직경팽화율, 조각밀도, 색도, 수용성질소지수, 압출성형물의 미세구조, 수분흡착지수, 조직잔사지수, 조직감을 분석하였다.

재료 및 방법

재료

실험에서는 중국산 분리대두단백(Dezhou Ruikang Food Co., Shangdong, China)을 사용하였으며 수분함량은 13.77±0.14%, 단백질함량은 85.44±0.49%였다.

압출성형공정

실험에 사용된 압출성형기는 실험용 동방향 쌍축 압출성형기(THK31T, Incheon Machinery Co., Incheon, Korea)로 스크루 직경은 30 mm, 길이와 직경의 비(L/D ratio)는 23:1 이었고, 사출구는 원형으로 직경이 3 mm인 것을 사용하였으며, CO₂ 가스 주입시스템과 스크루의 배열은 Fig. 1과 같다. 수분함량은 펌프로 원료 사입구에 직접 물을 주입하여 조절하였다. 용융물의 온도는 전열기와 냉각수를 사용하여

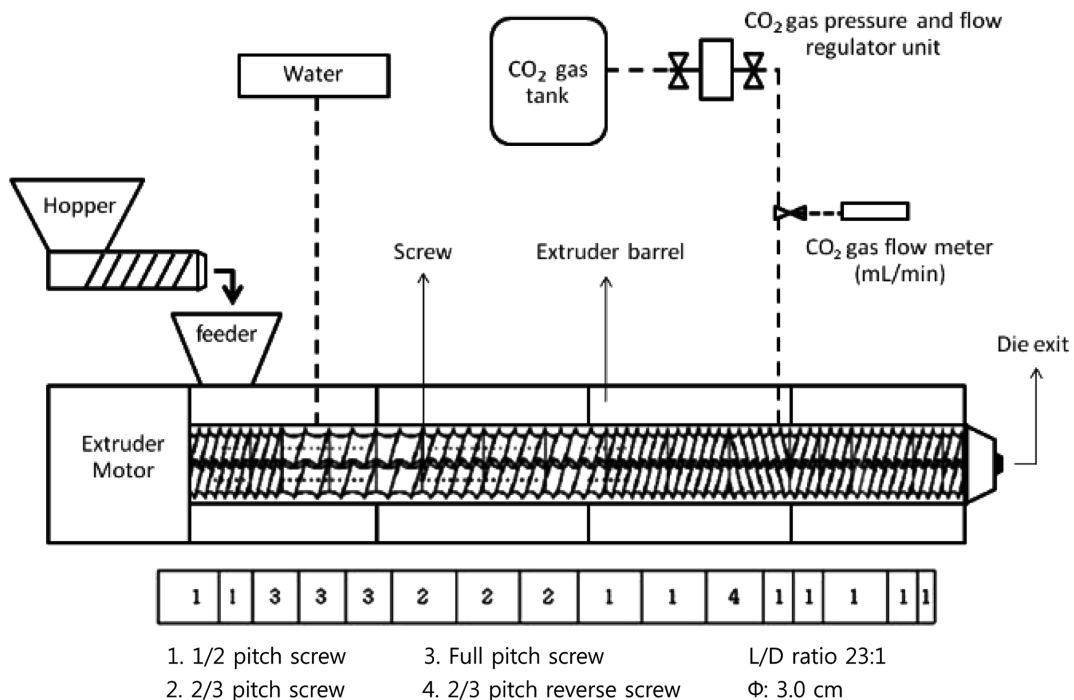


Fig. 1. Assembly of co-rotating intermeshing twin screw extruder and screw configuration.

조절하였다. 압출성형 공정변수는 온도와 수분함량에 따른 물리적 특성을 알아보기 위해 원료 사입량 100 g/min, 스크루 회전속도 250 rpm, 사출구 온도를 135°C으로 고정시키고 CO₂ 가스를 0, 800 mL/min, 수분함량을 40, 50, 60%로 각각 조절하였다. 제조한 압출성형물은 50°C에서 8시간 건조하여 비길이와 직경팽화율, 조각밀도, 수분흡착지수, 압출성형물의 미세구조, 조직잔사지수, 조직감을 측정하였고, 가정용 분쇄기(FM-909T, Hanil, Haman, Korea)로 분쇄하여 50-70 mesh의 분말을 시료로 사용하여 색도, 수용성질소지수를 측정하였다.

직경팽화율과 비길이

직경팽화율과 비길이는 Alvarez et al. (1988)의 방법을 응용하여 측정하였다. 직경팽화율은 압출성형물의 직경을 캘리퍼스(CD-15C, Mitutoyo Co., Tokyo, Japan)로 10회 측정하여 식 (1)을 이용하여 사출구의 직경과 압출성형물 직경비의 평균값과 표준편차를 구하였다.

비길이는 일정한 길이로 절단한 압출성형물의 길이와 무게의 비로 압출성형물의 길이는 캘리퍼스로 측정하였고, 무게는 전자저울(MW-II, CAS Co., Yangju, Korea)을 사용하여 10회 측정 후 식 (2)를 이용하여 평균값과 표준편차를 구하였다.

$$\text{Expansion ratio} = \frac{D_e}{D_d} \quad (1)$$

D_e : Diameter of extrudate (cm)

D_d : Diameter of die hole (cm)

$$\text{Specific length (cm/g)} = \frac{\text{Length of extrudate (cm)}}{\text{Weigh of extrudate (g)}} \quad (2)$$

조각밀도

조각밀도는 Jin et al. (2010)의 방법을 활용한 종자치환법으로 계량컵을 이용하여 2 cm로 자른 건량 기준의 압출성형물 3 g과 차조의 부피를 10회 반복하여 평균값을 구하고 압출성형물과 차조를 포함한 부피를 측정하여 식 (3)을 이용하여 압출성형물의 밀도를 계산하였다.

$$\rho_e = \frac{M_0}{M + M_0 - M_1} \rho_m \quad (3)$$

ρ_e : bulk density of extrudate (g/cm³)

ρ_m : bulk density of millet (g/cm³)

M : mass of extrudate in a cup (g)

M_0 : mass of millet in a cup (g)

M_1 : mass of extrudate and millet in a cup (g)

색도

압출성형물을 분쇄한 시료를 색차계(Chrome Meter CR-300,

Minolta Co., LTD., Osaka, Japan)를 이용하여 명도(lightness, L), 적색도(redness, a), 황색도(yellowness, b) 값을 3회 측정 한 평균값으로 색변화도(color difference, ΔE) 값을 나타내었다(식 (4)). 표준 색판의 값은 $L=97.22$, $a=0.32$, $b=2.47$ 이었다.

$$\Delta E = \sqrt{(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2} \quad (4)$$

ΔE : color difference

L_0 and L : lightness of raw material and extruded sample, respectively

a_0 and a : redness of raw material and extruded sample, respectively

b_0 and b : yellowness of raw material and extruded sample, respectively

수용성질소지수

압출성형물의 수용성질소지수는 Daun & Kisilowsky (1999)의 방법을 응용하였다. 시료의 수용성 질소 함량(soluble nitrogen of sample)은 시료 0.5 g에 0.5% KOH 40 mL을 넣고 중탕조에서 30°C, 120 rpm, 20 min 교반시킨 후 원심분리(2000 rpm, 10 min)한 상층액을 취해 Ninhydrin 법으로 질소 정량하였다. 시료의 총 질소 함량(total nitrogen of sample)은 시료 0.5 g에 6N HCl을 넣어 100°C, 24 h 가 수분해한 후 증류수 40 mL로 용출하여 Ninhydrin법으로 질소 정량하였다. 수용성질소지수는 시료의 수용성질소 함량과 시료의 총 질소 함량을 3회 측정하여 식 (5)을 이용하여 평균값과 표준편차를 산출하였다.

$$\text{NSI (\%)} = \frac{\text{Soluble nitrogen of sample}}{\text{Total nitrogen of sample}} \times 100 \quad (5)$$

압출성형물의 미세구조

압출성형물의 미세구조는 1.5 cm로 자른 압출성형물의 단면에 은을 바른 후 고분해능 주사전자현미경(MIRA LMH, Tescan Co., Ltd., Brno, Czech)을 이용하여 관찰하였다.

수분흡착지수와 수분용해지수

수분흡착지수와 수분용해지수는 AACC 방법(1983)을 이용하여 건량 기준의 분쇄한 시료 1.5 g에 증류수 30 mL 첨가 후 30분간 30°C에서 수침 한 후 3000 rpm, 20분간 원심분리 한 후 상등액을 알루미늄 접시에 부은 후 105°C에서 2시간동안 건조한 후 상등액의 고형분함량을 3회 측정 한 후 평균값과 표준편차를 구하였다(식 (6, 7)).

$$\text{WAI (g/g)} = \frac{\text{Hydrated sample wt.} - \text{Dry sample wt.}}{\text{Dry sample wt.}} \quad (6)$$

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

수분 흡수력

수분 흡수력은 AACC (1983) 방법을 응용하여 2 cm로 자른 건량 기준의 압출성형물 3 g에 증류수 60 mL 첨가 후 water bath에서 80°C, 1시간 30분간 수침 후 50 mesh 체에서 15분간 물을 빼낸 후 무게를 3회 측정 후 식 (8)을 이용하여 평균값과 표준편차를 구하였다.

$$\text{WHC (\%)} = \frac{\text{Wet sample wt.} - \text{Dry sample wt.}}{\text{Dry sample wt.}} \quad (8)$$

조직잔사지수

조직잔사지수 (integrity index)는 압출성형물의 조직형성 정도를 평가하기 위한 실험으로 Park et al. (2016)의 실험 방법을 응용하여 다음과 같이 측정하였다. 2 cm로 자른 건량 기준의 압출성형물 3 g에 증류수 60 mL 첨가 후 80°C의 water bath에서 1시간 30분간 침지, 복원시킨 후 121°C에서 15분간 가압 가열하여 흐르는 물에 30초간 냉각시켰다. 냉각된 시료에 증류수를 부어 100 mL로 정용하고 homogenizer로 9,500 rpm으로 1분간 균질화 시킨 후 20 mesh체에 걸러내어 흐르는 물로 30초간 씻어낸 후 105°C에서 2시간 건조시킨 후 무게를 3회 측정하여 식 (9)을 이용하여 평균값과 표준편차를 산출하였다.

$$\text{Integrity index (\%)} = \frac{\text{Dry residue wt.}}{\text{Sample wt.}} \quad (9)$$

조직감

탄력성(springiness)과 응집성(cohesiveness)은 Sun Rheometer (Compac-100II, Sun Sci. Co., Tokyo, Japan)를 이용하여 탐침 1번으로 측정하였으며 직경은 2 cm이었으며, 측정조건은 최대 응력 2 kg, 지지대 이동 속도 100 mm/min 이었다. 시료(1.5-2.0 cm) 5 g을 water bath (80°C)에서 1 h 30 min 수화시킨 후 15 min 동안 물을 제거하고 탄력성과 응집성을 5회 측정함

후 Trinh과 Glasgow (Trinh & Glasgow, 2012)가 제시한 식 (10)과 식 (11)를 이용하여 평균값과 표준편차를 구하였다.

$$\text{Springiness (\%)} = \frac{\text{Length}_2}{\text{Length}_1} \times 100 \quad (10)$$

$$\text{Cohesiveness (\%)} = \frac{\text{Area}_2}{\text{Area}_1} \times 100 \quad (11)$$

통계처리

결과의 통계처리는 SPSS version 23.0 (IBM-SPSS, Thornwood, NY, USA)을 이용하여 일원배치분산분석(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

팽화특성인 직경팽화율과 비길이가, 조각밀도는 압출성형물의 조직감에 영향을 미친다(Gu et al., 2010). 수분함량과 CO₂ 가스 주입에 따른 직경팽화율, 비길이, 조각밀도는 Table 1에 나타내었다. 직경팽화율은 수분함량 40%, CO₂ 가스 주입량 800 mL/min일 때 1.50±0.08로 가장 높았으며 수분함량 60%, CO₂ 가스 주입량 800 mL/min일 때 0.94±0.06으로 가장 낮았다. 비길이는 수분함량 60%, CO₂ 가스 주입량 0 mL/min일 때 108.48±7.46 m/kg로 가장 높았으며 수분함량 40%, CO₂ 가스 주입량 0 mL/min일 때 73.77±4.18 m/kg로 가장 낮았다. 수분함량이 각각 40, 50%일 때, CO₂ 가스 주입량이 0에서 800 mL/min으로 증가할수록 비길이와 직경팽화율이 증가하였으나 수분함량 60%에서는 CO₂ 가스 주입량이 0에서 800 mL/min으로 증가할수록 감소하였다. 이는 CO₂ 가스를 주입하지 않고 일반적인 분리대두단백의 압출성형에서 직경팽화율이 증가함에 따라 비길이도 같이 증가하였다는 Park et al. (2016)의 보고와 일치하였다.

조각밀도는 수분함량이 60%이고 CO₂ 가스를 800 mL/

Table 1. Expansion index, specific length and piece density of extruded soy protein isolate with different moisture content and CO₂ gas injection

Moisture content (%)	CO ₂ gas injection (mL/min)	Expansion ratio	Specific length (m/kg)	Piece density (g/cm ³)
40	0	1.25±0.09 ^{c1)}	73.77±4.18 ^d	0.60±0.07 ^b
	800	1.50±0.08 ^a	76.88±4.37 ^d	0.58±0.07 ^b
50	0	1.29±0.06 ^{bc}	82.99±7.17 ^c	0.66±0.05 ^{ab}
	800	1.34±0.03 ^b	84.70±5.89 ^c	0.55±0.10 ^b
60	0	1.16±0.06 ^d	108.48±7.46 ^a	0.62±0.07 ^b
	800	0.94±0.06 ^c	95.77±4.98 ^b	0.74±0.08 ^a

¹⁾Means with different letters within a column are significantly different ($p < 0.05$) by Duncan's multiple range test.

min을 주입하였을 때 $0.74 \pm 0.08 \text{ g/cm}^3$ 로 가장 높았고 수분 함량이 50%이고 CO_2 가스를 800 mL/min을 주입하였을 때 $0.55 \pm 0.10 \text{ g/cm}^3$ 로 가장 낮았다. 수분함량이 각각 40, 50%일 때, CO_2 가스 주입량이 0에서 800 mL/min으로 증가할수록 조각밀도는 감소하였으며 수분함량 60%에서는 CO_2 가스 주입량이 0에서 800 mL/min으로 증가할수록 증가하였다. 이는 CO_2 가스를 주입하지 않은 분리대두단백의 압출성형에서 수분함량이 증가할수록 압출성형기 내부의 흐름이 원활하여 압력이 낮아지므로 밀도가 증가하였으며 직경팽화율은 감소하였다는 Kim et al. (2012)의 보고와 일치하였다.

색도

수분함량과 CO_2 가스 주입에 따른 분리대두단백 압출성형물의 색도는 Table 2에 나타내었다. 원료의 명도(L), 적색도(a), 황색도(b)는 각각 82.74 ± 0.08 , 0.35 ± 0.05 , 18.17 ± 0.06 이었으나 압출성형 한 분리대두단백의 명도는 감소하였으나 적색도와 황색도는 증가하는 경향을 보였다.

명도는 수분함량이 60%이고 CO_2 가스 주입량 0 mL/min일 때 68.72 ± 0.15 로 가장 높았으며 수분함량 40%, CO_2 가스 주입량 800 mL/min일 때 65.21 ± 0.15 로 가장 낮았다. 적색도는 수분함량 40%, CO_2 가스 주입량 0 mL/min일 때 2.48 ± 0.03 으로 가장 낮았으며 수분함량 50%, CO_2 가스 주입량 800 mL/min일 때 3.33 ± 0.06 으로 가장 높았다. 황색도는 수분함량 60%, CO_2 가스 주입량이 800 mL/min일 때 25.53 ± 0.16 으로 가장 높았고 수분함량 40%이고 CO_2 가스 주입량이 0 mL/min일 때 22.50 ± 0.27 으로 가장 낮았다. CO_2 가스 주입량이 0에서 800 mL/min로 증가할수록 명도는 감소하였고 적색도와 황색도는 증가하였다.

총 색도차는 수분함량 40%이고 CO_2 가스 주입량이 0 mL/min일 때 18.87 ± 0.10 로 가장 높았으며 수분함량 60%이고 800 mL/min일 때 16.02 ± 0.18 로 가장 낮았다. 수분함량이 감소하고 CO_2 가스 주입량이 0에서 800 mL/min로 증가하면서 총 색도차도 증가하였다. 따라서 총 색도차는 수분함량이 낮고 CO_2 가스 800 mL/min을 주입하였을 때 갈

변화가 증가하는 것으로 보였다. 이는 CO_2 가스를 주입하지 않고 일반적인 분리대두단백의 압출성형에서 사출구 온도가 130°C 일 때 수분함량이 감소할수록 총색도차는 증가하였다는 Park et al. (2016)의 보고와 일치하였다.

수용성질소지수

수용성질소지수는 조직화 성형시 단백질의 변성 정도를 구체적으로 나타내어주는 지표이다(Han et al., 1989b). 수분함량(40, 50, 60%)과 CO_2 가스 주입(0, 800 mL/min)에 따른 분리대두단백 압출성형물의 수용성질소지수는 Table 2에 나타내었다.

원료 분리대두단백의 수용성질소지수는 $26.96 \pm 1.26\%$ 이었으며 압출성형 후 감소하였다. 수분함량 50%에서 CO_2 가스 주입량이 0 mL/min일 때 $22.76 \pm 0.27\%$, CO_2 가스 주입량이 800 mL/min일 때 $23.64 \pm 1.78\%$ 로 높았으며 수분함량 60%에서는 CO_2 가스 주입량이 0 mL/min일 때 $21.43 \pm 0.54\%$, CO_2 가스 주입량이 800 mL/min일 때 $22.33 \pm 0.98\%$ 로 낮았다. CO_2 가스 주입량이 0에서 800 mL/min으로 증가할수록 수용성질소지수의 값도 증가하였는데 이는 수용성질소지수가 낮을수록 조직화가 촉진되었다는 Noguchi (1990)의 보고와 같이 CO_2 가스 주입량이 0 mL/min일 때 수용성질소지수가 감소하여 조직화가 촉진되었다고 생각된다. 하지만 압출성형 조직화 분리대두단백의 최적 조직화에 대한 연구가 더 필요하고 판단된다.

압출성형물의 미세구조

압출성형물의 미세구조는 시료의 단면을 300배 확대하여 관찰하였고 이는 Fig. 2와 같다. 수분함량 40, 50%에서 CO_2 가스 주입량이 0 mL/min일 때 단면적이 큰 기공들이 많이 형성되었고 CO_2 가스 주입량이 800 mL/min일 때는 큰 기공들 사이에 작은 기공들이 형성되었다. 하지만 수분함량 60%에서는 CO_2 가스 0 mL/min을 주입하였을 때 기공이 거의 형성되지 않았고 CO_2 가스 800 mL/min을 주입하였을 때 단면적이 작은 기공들이 많이 형성되었다. 이는 수분함량이 높아 점도가 낮아지므로 흐름이 원활해져 팽화

Table 2. Color and nitrogen solubility index of extruded soy protein isolate with different moisture content and CO_2 gas injection

Moisture content (%)	CO_2 gas injection (mL/min)	Lightness (L)	Redness (a)	Yellowness (b)	Color difference	Nitrogen solubility index (%)
	Control ¹⁾	$82.74 \pm 0.08^{\text{a}2)}$	$0.35 \pm 0.05^{\text{d}}$	$18.17 \pm 0.06^{\text{d}}$	-	$26.96 \pm 1.26^{\text{a}}$
40	0	$66.79 \pm 0.23^{\text{d}}$	$2.48 \pm 0.03^{\text{d}}$	$22.50 \pm 0.27^{\text{c}}$	$18.87 \pm 0.10^{\text{c}}$	$21.45 \pm 0.52^{\text{c}}$
	800	$65.21 \pm 0.15^{\text{e}}$	$3.24 \pm 0.01^{\text{c}}$	$24.53 \pm 0.14^{\text{b}}$	$16.66 \pm 0.20^{\text{a}}$	$23.14 \pm 0.57^{\text{bc}}$
50	0	$68.12 \pm 1.48^{\text{b}}$	$2.92 \pm 0.25^{\text{a}}$	$24.44 \pm 1.53^{\text{a}}$	$16.94 \pm 0.21^{\text{e}}$	$22.76 \pm 0.27^{\text{bc}}$
	800	$67.44 \pm 0.23^{\text{bc}}$	$3.33 \pm 0.06^{\text{c}}$	$24.81 \pm 0.08^{\text{b}}$	$16.19 \pm 0.78^{\text{b}}$	$23.64 \pm 1.78^{\text{b}}$
60	0	$68.72 \pm 0.15^{\text{bb}}$	$3.09 \pm 0.06^{\text{b}}$	$25.43 \pm 0.20^{\text{a}}$	$16.21 \pm 0.23^{\text{c}}$	$21.43 \pm 0.54^{\text{c}}$
	800	$68.58 \pm 0.30^{\text{ab}}$	$3.20 \pm 0.05^{\text{c}}$	$25.53 \pm 0.16^{\text{a}}$	$16.02 \pm 0.18^{\text{d}}$	$22.33 \pm 0.98^{\text{bc}}$

¹⁾Raw soy protein isolate.

²⁾Means with different letters within a column are significantly different ($p < 0.05$) by Duncan's multiple range test.

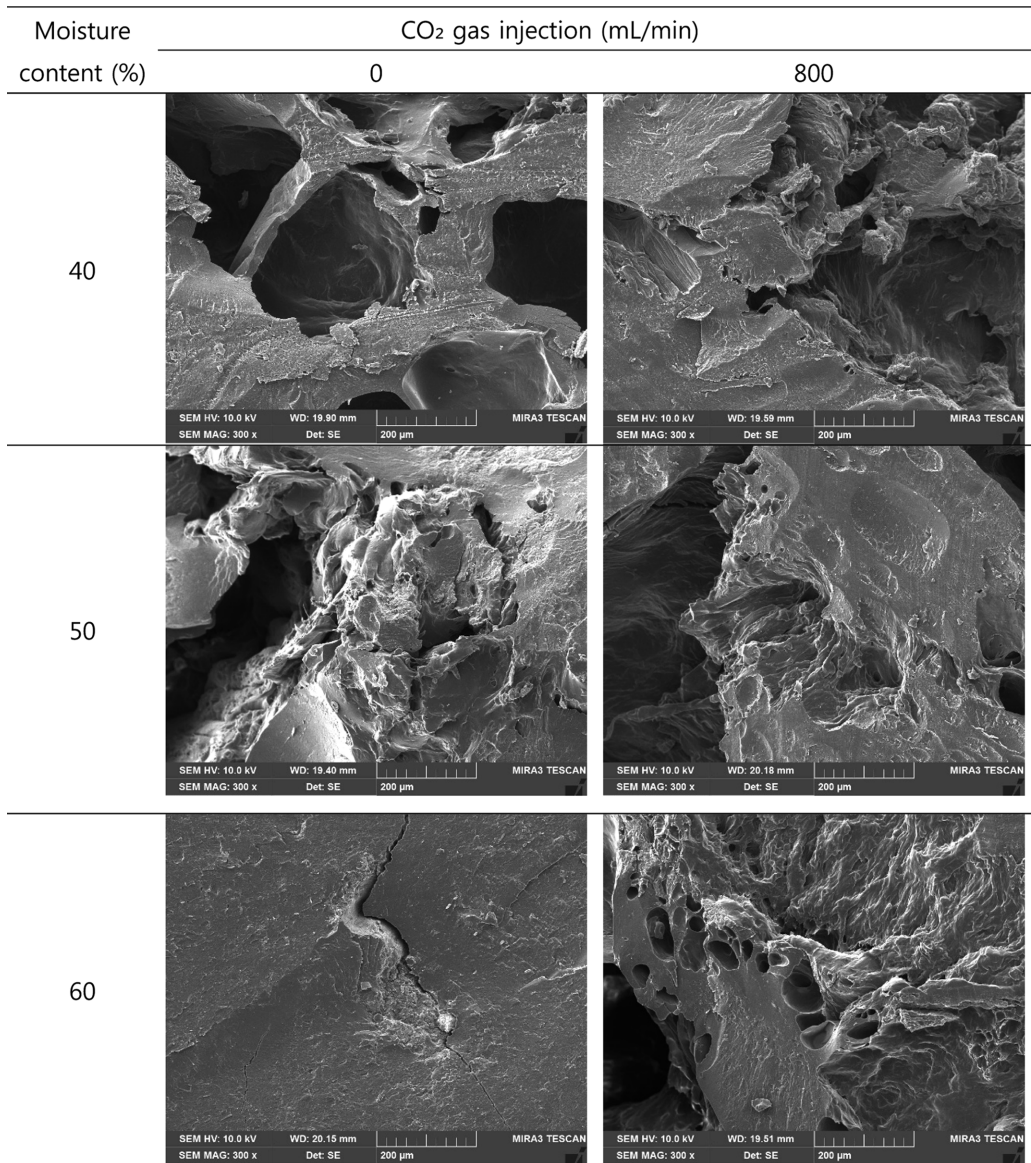


Fig. 2. Scanning electron micrographs of cross section of extruded soy protein isolate with different moisture content and CO₂ gas injection (300×).

가 잘 일어나지 않는 것으로 보였다. CO₂ 가스를 주입한 옥수수 압출성형물에 대하여 보고한 Gu & Ryu (2012)는 CO₂ 가스 주입량이 증가할수록 단면적이 큰 기공의 형성이 많았다고 하였다. 분리대두단백 압출성형물은 CO₂ 가스 주입량 0 mL/min일 때 단면적이 큰 기공들이 형성되었고 CO₂ 가스 주입량 800 mL/min일 때는 단면적이 큰 기공들 사이에 작은 기공들이 형성된 것을 볼 수 있었다. 이는 옥수수과 분리대두단백의 단백질 함량의 차이가 원인으로 생각된다.

수분흡착지수와 수분용해지수, 수분흡수력

분리대두단백 압출성형물의 분말(50-70 mesh)을 이용하여 측정된 수분흡착지수(water absorption index, WAI), 수

분용해지수(water solubility index, WSI)와 분리대두단백 압출성형물을 1.5-2 cm로 자른 조각을 이용하여 측정된 수분흡수력(water holding capacity, WHC)은 Table 3에 나타내었다.

원료의 WAI와 WSI는 각각 4.54 ± 0.15 g/g, $10.92 \pm 0.31\%$ 이었다. WAI는 수분함량 40%, CO₂ 가스 주입량 0 mL/min일 때 4.67 ± 0.12 g/g으로 가장 높았고 수분함량 50%, CO₂ 가스 주입량 0 mL/min일 때 3.71 ± 0.18 g/g으로 가장 낮았다. WSI는 수분함량 60%, CO₂ 가스 주입량 800 mL/min일 때 $6.56 \pm 0.70\%$ 로 가장 높았고 수분함량 40%, CO₂ 가스 주입량 3.61 \pm 0.25%로 가장 낮았다. 수분함량이 50, 60% 일 때 CO₂ 가스 주입량이 0 에서 800 mL/min으로 증가할수록 WAI와 WSI 모두 증가하였지만 수분함량이 40%일 때는 감

Table 3. Water absorption index, water solubility index, water hording capacity, integrity index and texture of extruded soy protein isolate with different moisture content and CO₂ gas injection

Moisture content (%)	CO ₂ gas injection (mL/min)	WAI ²⁾ (g/g)	WSI ³⁾ (%)	WHC ⁴⁾ (%)	Integrity index (%)	Texture	
						Springiness (%)	Cohesiveness (%)
Control ¹⁾		4.54±0.15 ^{ab5)}	10.92±0.31 ^a	-	-	-	-
40	0	4.67±0.12 ^a	5.84±0.21 ^{bc}	507.94±0.42 ^c	75.65±1.08 ^{ab}	78.77±2.27 ^{ab}	61.40±4.71 ^{ab}
	800	4.27±0.31 ^b	3.61±0.25 ^c	510.70±6.35 ^c	38.00±2.07 ^c	70.26±2.29 ^{cd}	49.84±3.03 ^c
50	0	3.71±0.18 ^c	5.05±0.67 ^{bc}	506.03±2.58 ^c	73.35±0.45 ^b	75.60±2.19 ^{bc}	58.30±2.98 ^{bc}
	800	3.78±0.04 ^c	7.20±0.97 ^b	547.54±8.22 ^b	12.64±2.80 ^d	68.26±3.67 ^d	48.99±4.33 ^c
60	0	4.56±0.04 ^{ab}	5.99±0.39 ^{bc}	508.38±9.14 ^c	77.33±0.46 ^a	81.94±3.38 ^a	62.64±4.44 ^a
	800	4.62±0.12 ^a	6.56±0.70 ^{bc}	591.13±5.64 ^a	10.31±0.88 ^d	78.67±3.26 ^{ab}	61.55±4.37 ^{ab}

¹⁾Raw soy protein isolate.

²⁾Water absorption index.

³⁾Water solubility index.

⁴⁾Water hording capacity.

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

소하였다.

WHC는 압출성형물을 재수화한 후의 조직감과 관계가 있다(Lin et al., 2002). 수분함량 60%, CO₂ 가스 주입량 800 mL/min일 때 591.13±5.64%으로 가장 높았으며 수분함량 50%, CO₂ 가스 주입량 0 mL/min일 때 506.03±2.58%으로 가장 낮은 값을 보였다. CO₂ 가스 주입량이 0 에서 800 mL/min로 증가할수록 WHC도 증가하였는데 이는 압출성형물의 미세구조에서와 같이 CO₂ 가스 800 mL/min을 주입한 압출성형물에 기공이 많이 형성되었기 때문에 수분을 더 많이 흡수할 수 있는 것으로 생각된다.

본 연구에서 WAI와 WHC는 다른 경향을 보이는데 이것은 WAI의 경우 압출성형물을 분쇄한 후 사용하였기 때문에 기공이 큰 영향을 미치지 못하였으나 WHC는 압출성형물을 자른 조각을 사용하였기 때문에 기공의 영향으로 흡수력이 증가한 것으로 보였다.

조직잔사지수

조직잔사지수(integrity index)는 육고기가 가지고 있는 섬유상의 조직을 수치적으로 표현하기 위하여 사용되는 지표로서 분리대두단백 압출성형물의 조직화 평가를 위해 측정하였으며 Table 3과 같다 (Han et al. 1989b).

조직잔사지수는 수분함량이 60%이고 CO₂ 가스 주입량이 0 mL/min일 때 77.33±0.46%로 가장 높았으며 수분함량이 60%이고 CO₂ 가스 주입량이 800 mL/min일 때 10.31±0.88%로 가장 낮았다. 또한 CO₂ 가스 주입량이 0 에서 800 mL/min으로 증가할수록 감소하였다. 이는 CO₂ 가스 주입량이 800 에서 0 mL/min으로 감소할수록 수용성질소지수와 같이 조직화가 촉진되는 것으로 보이며 CO₂ 가스 주입량이 800 mL/min일 때 기공형성으로 인해 단백질 결합이 감소하는 것으로 보였다. 또한 수분함량이 증가할수록 조직잔사지수는 감소하였는데 글루텐함량과 수분함량에 따른 분

리대두단백 압출성형물의 수분함량이 증가함에 따라 조직잔사지수가 감소하였다는 Park et al. (2017)의 보고와 일치하였다.

조직감

조직감은 분리대두단백 조직화압출성형물의 지표로서 탄력성과 응집성을 측정하여 Table 3에 나타내었다. 탄력성은 시료에 변형력이 제거되고 나서 원상태로 돌아가는 비율이고 응집성은 씹힘에 대한 저항성을 이용하여 조직형성력을 알 수 있다(Trinh & Glasgow, 2012).

탄력성은 수분함량 60%이고 CO₂ 가스 0 mL/min을 주입하였을 때 81.94±3.38%로 가장 높은 값을 나타내었으며 수분함량 50%이고 CO₂ 가스 800 mL/min을 주입하였을 때 68.26±3.67%로 가장 낮은 값을 나타내었다. 응집성은 수분함량 60%, CO₂ 가스 주입량 0 mL/min일 때 62.64±4.44%로 가장 높았고 수분함량이 50%이고 CO₂ 가스 800 mL/min을 주입한 것이 48.99±4.33%로 가장 낮았다. 또한 탄력성과 응집성 모두 CO₂ 가스 주입량이 0 에서 800 mL/min로 증가할수록 증가하였는데 이는 수분흡수력과 비례하며 기공의 형성이 영향을 미치는 것으로 보였다. 결론적으로 최적의 조직감을 가지는 압출성형 분리대두단백 인조육을 제조하기 위하여 CO₂ 가스 주입이 분리대두단백 압출성형물의 조직감에 미치는 영향에 대한 심도있는 연구가 앞으로도 계속 진행될 필요가 있다고 생각된다.

요 약

본 연구는 수분함량(40, 50, 60%)과 CO₂ 가스 주입(0, 800 mL/min)에 따라 분리대두단백 조직화 압출성형물에 미치는 영향을 알아보기 위하여 이화학적 특성을 분석하였다. 압출성형 공정변수는 사입량 100 g/min, 스크루 회전속도

250 rpm, 사출구 온도 135°C로 고정하였다. 수분함량이 각각 40, 50%일 때 CO₂ 가스 주입량이 0 mL/min에서 800 mL/min으로 증가할수록 직경팽화율과 비길이는 증가하였고 조각밀도는 감소하였다. 하지만 수분함량 60%일 때는 직경팽화율과 비길이는 감소하였고 조각밀도는 증가하였다. CO₂ 가스 주입량이 0 mL/min에서 800 mL/min으로 증가할수록 크기가 작은 기공들이 많이 형성되었다. 또한 CO₂ 가스 주입량이 0 mL/min에서 800 mL/min으로 증가할수록 수용성질소지수와 수분흡착지수는 증가하였고 조직잔사지수와 조직감은 감소하였다. CO₂ 가스 800 mL/min을 주입한 분리대두단백 조직화 압출성형물은 CO₂ 가스 0 mL/min을 주입한 분리대두단백 조직화 압출성형물보다 팽화가 잘 일어났으며 단면적이 작은 기공들이 형성되었으나 수용성질소지수와 조직잔사지수, 조직감 분석에서는 최적 조직화에 대한 연구가 더 필요한 것으로 판단되었다.

감사의 글

한국연구재단의 2014년도 일반 연구자 지원 사업(NRF-2014R1A1A4A03004018)에 의하여 수행된 연구결과의 일부로 연구비 지원에 감사드립니다.

References

- AACC. 1983. Approved Method of the AACC (10th ed). Method 56-20. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA.
- Alvarez-Martinez L, Kondury KP, Happer JM. 1988. A general model for expansion of extruded products. *J. Food Sci.* 53: 609-615.
- An SH, Ryu GH. 2015. Effects of die temperature and CO₂ injection on physical properties and antioxidant activity of extruded rice with tomato flour. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 44: 912-920.
- Daun J, Kisilowsky M. 1999. Nitrogen Solubility Index (NSI) of Canola Seed and Meal Produced at Canadian and Japanese Crushing Plants. Canadian Grain Commission. Winnipeg, Manitoba, Canada.
- Gil SK, Choi JH, Ryu GH. 2014. Change in physical properties of cold extruded brown rice and vegetable mix at various pregelatinized brown rice content and CO₂ gas injection. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 43: 1716-1723.
- 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.
- Gu BJ, Ryu GH. 2012. Effect of die geometry and carbon dioxide injection on physical properties of extruded corn flour. *Food Eng. Prog.* 16: 83-91.
- Han O, Park YH, Lee SH, Lee HY, Min BL. 1989a. The texturization properties of textured extrudate made by a mixture of rice flour and isolated soybean protein. *Korean J. Food Sci. Technol.* 21: 780-787.
- Han O, Lee SH, Lee HY, Oh SL, Lee CH. 1989b. The effects of screw speed and moisture contents on soy protein under texturization using a single-screw extruder. *Korean J. Food Sci. Technol.* 21: 772-779.
- Hwang HY, Cho HY, Kim KR, Lee SH, Choi MJ, Shin JK. 2015. Hydrolysis of isolate soybean protein using subcritical water. *Korean J. Food Sci. Technol.* 47: 772-778.
- Jin T, Gu BJ, Ryu GH. 2010. Manufacturing of hemp seed flake by using extrusion process. *Food Eng. Prog.* 14: 99-105.
- Kim JE, Hwang K, Lee SP. 2010. ACE inhibitory and hydrolytic enzyme activities in textured vegetable protein in relation to the solid state fermentation period using *Bacillus subtilis* HA. *Food Sci. Biotechnol.* 19: 487-495.
- Kim CH, Jin T, Ryu GH. 2012. Effects of moisture content on physical properties of extruded cereal flours. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 41: 1603-1610.
- Lin S, Huff HE, Hsieh F. 2002. Extrusion process parameters, sensory characteristics, and structural properties of a high moisture soy protein meat analog. *J. Food Sci.* 67: 1066-1072.
- Noguchi A, Kugimiya W, Haque Z, Saio K. 1982. Physical and chemical characteristics of extruded rice flour fortified with soy protein isolate. *J. Food Sci.* 47: 240-245.
- Noguchi A. 1990. Recent research and industrial achievements in extrusion cooking in Japan. In: *Processing and Quality of Foods. I. High Temperature and Short Time Process.* Zeuthen P, Cheftel JC, Eriksson C, Gormley TR, Linko P and Paulus K (eds.). Elsevier Applied Science, London. pp. 203-214.
- Thin T, Lin M, Ryu GH. 2016. The effects of CO₂ injection and barrel temperatures on the physicochemical and antioxidant properties of extruded cereals. *Prev. Nutr. Food Sci.* 21: 271-280.
- Trinh KT, Glasgow S. 2012. On the texture profile analysis test. In: *Chemeca 2012. September 23-26, Wellington, New Zealand.*
- Park JH, Park MN, Lee IS, Kim YK, Kim WS, Lee YS. 2010. Effect of soy protein, its hydrolysate and peptide fraction on lipid metabolism and appetite related hormones in rats. *Korean J. Nutr.* 43: 342-350.
- Park JH, Kang DI, Ryu GH. 2016. Effect of screw speed, moisture content and die temperature on texturization of extruded soy protein isolate. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 45: 1170-1176.
- Park JH, Apapan C, Ryu GH. 2017. Effects of gluten and moisture content on texturization of extruded soy protein isolate. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 46: 473-480.
- Ryu GH, Mulvaney SJ. 1997. Analysis of physical properties and mechanical energy input of cornmeal extrudates fortified with dairy products by carbon dioxide injection. *Korean J. Food Sci. Technol.* 29: 947-954.
- Ryu GH. 2003. Texturization of plant protein by using extrusion process. *Food Eng. Prog.* 7: 73-79.
- Yanqiang F, Bo Z, Yimin W. 2014. Effects of the specific mechanical energy on the physicochemical properties of texturized soy protein during high moisture extrusion cooking. *J. Food Eng.* 121: 32-38.