

배럴온도와 수분함량에 따른 식물성조식단백의 이화학적 특성

문대균 · 김미환 · 류기형*

공주대학교 식품공학과, 공주대학교 식품 및 사료 압출성형 연구센터

Effects of Barrel Temperature and Moisture Content on the Physicochemical Properties of Texturized Vegetable Protein

Dae Gyun Moon, Mi-Hwan Kim, and Gi-Hyung Ryu*

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

Abstract

The objective of this study is to determine the effects of barrel temperature and moisture content on the physicochemical properties of texturized vegetable protein (TVP). The water absorption index, water solubility index, texture, integrity index, color, and scanning electron micrograph of the TVP were analyzed. The extrusion conditions consisted of barrel temperature (110, 130, and 150°C) and moisture content (40, 45, and 50%) at a fixed screw speed of 250 rpm. The TVP extruded at 150°C barrel temperature and bearing 50% moisture content had higher water absorption index and water solubility index. Elastic force, cohesiveness, and color differences were the highest in the TVP extruded at 150°C barrel temperature and possessing 40% moisture content. However, the TVP at 150°C barrel temperature and having 40% moisture content had a lower integrity index than the TVP carrying moisture contents of 45 and 50%. The structure of the TVP extruded at 150°C barrel temperature and having 40% moisture content was found similar to a chicken breast tissue's structure. In conclusion, 150°C barrel temperature and 40% moisture content are optimal conditional characteristics for the texturization of soy protein isolate and gluten.

Key words: texturized vegetable protein, soy protein isolate, gluten, barrel temperature, moisture content, physicochemical properties

서 론

우리나라의 식생활은 곡류를 위주로 하는데, 그 중 대두는 식물성 단백질과 지방의 급원으로 약 1,500년 전부터 재배되고, 이용되어 왔다.

우수한 단백질과 불포화지방산 함량이 높은 대두는 지방과 탄수화물, 비타민 및 미네랄 등 미량 영양성분을 갖추고 있으며, 여러 생리활성 인자가 풍부하여 기능성 효능을 갖추고 있는 식품소재이다. 대두를 원료로 한 다양한 제품들의 발달과 더불어 대두에서 기능성 성분을 따로 분리하여 소재로써 사용하기 위한 다양한 기술연구도 진행되고 있다(Kim, 2006). 대두의 사포닌, 이소플라본, 피틴산, 식이 섬유, 난소화성 단백질 등은 콜레스테롤을 담즙산으로 만

들어 배설하므로 혈중 콜레스테롤을 낮출 수 있으며(Shin et al., 1999; Park et al., 2004), 특히, 사포닌, 이소플라본, 피틴산은 항암활성이 보고되었다(Liener, 1994; Kennedy, 1995). 또한, 대두는 생리활성물질과 영양학적 가치의 중요성이 인정되어 발효식품, 발아제품 및 기타 가공식품의 소재로 다양하게 이용되고 있다(Back et al., 2010).

이러한 대두에서 단백질만 분리하여 탄수화물과 지방이 제거된 분리대두단백은 대두에서 단백질 성분만 분리하여 90%이상의 단백질을 함유하고 있으며, 제품의 결합력 증가 및 조직감 개선에 이용되며(Kim, 1992), 단백질 함량이 탈지대두보다 2배 이상 높아서, 단백질 강화 식품에 적용하여 효과를 낼 수 있다(Hong et al., 2008). 또한, 수화력이 우수하여 다양한 식품의 증량제, 병원환자식, 이유식, 다이어트식품, 근육증강제, 건강보조식품 등으로 널리 이용되고 있고(Park & Lee, 2005), 육가공 제품의 제조 시 조직감, 외관, 유화안정성, 보수력, 결합력 등의 기능적 특성 향상과 제조 수율의 향상으로 인한 원가절감을 위해 동물성단백질 대신 다양하게 사용되고 있다(Lee et al., 2003).

*Corresponding author: Gi-Hyung Ryu, Department of Food Science and Technology, Kongju National University, Yesan, Choongnam, 340-800. Korea.

Tel: +82-10-8880-0906; Fax: +82-41-330-1489

E-mail: ghryu@kongju.ac.kr

Received April 20, 2020; revised May 21, 2020; accepted May 26, 2020

1960년대 초 미국에서 처음으로 압출성형기를 이용하여 축산육류에 대응하는 단백질 공급원 및 식품으로 식물성 단백질의 조직화를 시작하였다. 고온, 고압으로 단백질의 구조를 변형시켜 물리적으로 재구성하는 방법을 사용하였으며, 그 이용기술이 지속적으로 발전하여 왔다(Song et al., 1994). 압출성형공정은 식물성 단백질의 다른 조직화 공정에 비하여 공정이 단순하여 경제적인 면에서 많은 장점이 있고(Ryu, 2003), 단시간에 제품의 연속, 대량생산이 가능하여 생산효율의 증가, 에너지 절감 및 균일한 제품의 생산이 가능하다(Koh, 1996). 압출성형 공정은 고온의 배럴 안에서 회전하는 스크루에 의하여 원료가 혼합되면서 마찰이 생겨 전단력과 함께 열을 받아 소재의 성질을 분자 결합 수준까지도 바꿀 수 있는 장점이 있다(Kim & Lee, 2009).

Liu & Hsieh (2007)에 의하면 압출성형 원료로 사용하고 자 하는 분리대두단백은 수분함량을 조절하여 압출성형 할 경우 섬유형태를 갖는 육고기와 유사한 조직을 가지므로, 대체육으로 사용 가능한 것으로 보고되었다. 고수분 압출성형공정에서도 분리대두 단백질을 육고기와 비슷하게 조직감을 만들 수 있다. Lin et al. (2000)의 연구에서 압출 성형공정에서 수분함량 30%일 때 조직이 팽화되지만, 수분함량 50% 이상에서 냉각다이를 이용한 압출성형물은 팽창되지 않는 조직과 섬유질을 만들 수 있다고 보고하였다. 이와 같이 압출성형공정은 육고기와 비슷한 조직감을 가지는 대체육을 만드는 중요한 공정이다. 따라서 본 연구는 분리대두단백, 글루텐과 옥수수전분을 배럴온도(110, 130, 150°C)와 수분함량(40, 45, 50%)을 달리하여 압출성형한 조직감, 수분흡수율, 조직잔사지수, 색도, 미세구조 등의 변

화를 분석하여, 압출성형 대체육 제조에 필요한 최적의 배럴온도와 수분함량에 대해 연구해보고자 한다.

재료 및 방법

재료

실험에 사용한 분리대두단백(Wachsen West Road, Qingdao, China)의 단백질 함량과 수분 함량은 각각 90%, 6.2%였다, 옥수수 전분은 (주)삼양사(Seoul, Korea)에서 구입하였으며, 수분 함량은 10.8%였다. 글루텐(Roquette Freres, Lestrem, France)의 단백질 함량과 수분 함량은 각각 83%, 6.2%였다. 분리대두단백 50%, 글루텐 40%, 옥수수전분 10%를 혼합하여서 압출성형 대체육 재료로 사용하였다.

압출성형공정

실험에 사용된 실험용 압출성형기는 동방향 쌍축 압출성형기(THK31T, Incheon Machinery Co., Incheon, Korea)로 직경과 길이의 비(L/D ratio)는 23:1이었고, 직경은 30 mm, 스크루의 배열은 고전단력 스크루를 사용하였다(Fig. 1). 분리대두단백 50%, 글루텐 40%과 옥수수전분 10%를 혼합하여 투입하고, 수분함량은 펌프로 원료 투입구에 직접 물을 투입하여 조절하였으며, 용융물의 온도는 전열기와 냉각수를 사용하여 조절하였고, 모터용량은 7.5 HP였다.

압출성형 공정변수는 원료 투입량 100 g/min, 스크루 회전속도 250 rpm으로 고정시키고 배럴온도 110, 130, 150°C 에 각각 수분 함량 40, 45, 50%로 조절하였다. 제조된 압출성형 대체육은 열풍건조기(DS-FCPO250, DongSeo Sci. Co., Seoul, Korea)에서 50°C로 8시간 건조하여 품질 특성

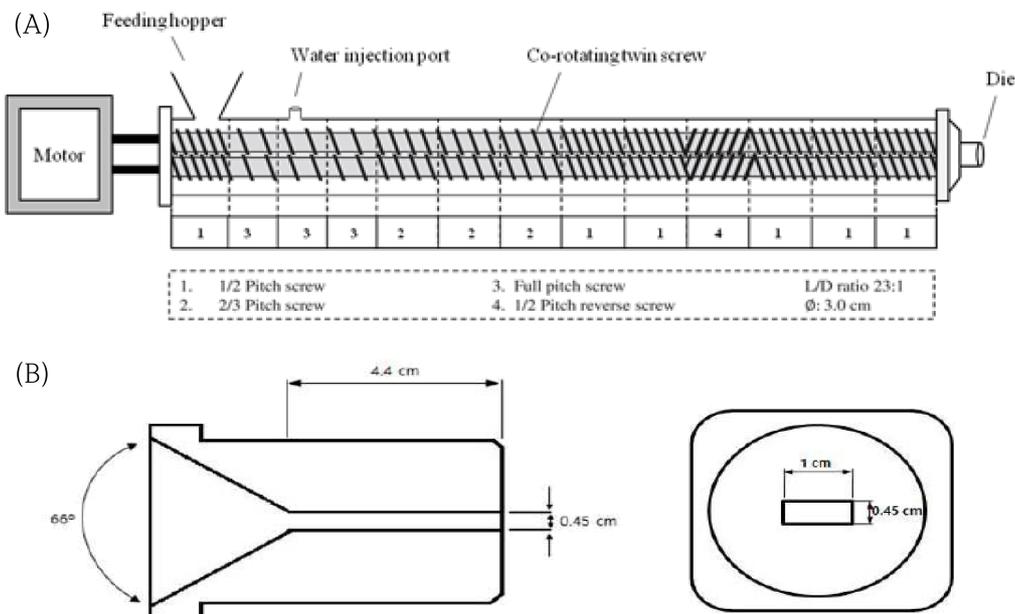


Fig. 1. Screw (A) and die configuration (B) for extruded soy protein isolate and gluten.

을 측정하였다. 건조된 압출성형 대체육을 80°C에서 수화하여 수분용해지수, 수분흡착지수, 탄성력, 응집력, 씹힘성, 조직잔사지수를 측정하였다.

수분용해지수 및 수분흡착지수

압출성형 대체육의 수분용해지수(water solubility index, WSI)와 수분흡착지수(water absorption index, WAI)는 Lawton (1984)의 방법을 응용하여 1.5-2.0 cm로 절단한 시료 5 g을 water bath를 이용하여 80°C에서 60분간 수화시킨 다음 15분간 물을 제거하고 수화된 시료의 무게를 측정하였다. 건조된 시료와 수화된 시료의 무게를 3회 측정 후 평균값과 표준편차를 구하였다(식 1, 2)

$$WSI(\%) = \frac{\text{Dry solid wt. recovered by evaporating the supernatant}}{\text{Dry sample wt.}} \times 100 \quad (1)$$

$$WAI(\%) = \frac{\text{Wet sample wt.} - \text{Dry sample wt.}}{\text{Dry sample wt.}} \times 100 \quad (2)$$

조직감

수화된 압출성형 대체육의 조직감은 Sun Rheo-meter (Compac-100 II, Sun Sci. Co., Tokyo, Japan)를 사용하여 10회 측정하여 평균값을 산출하였다. 1번 probe(직경 2 cm)를 사용하였으며, 측정조건은 지지대 이동속도 100 mm/min, 최대응력 2 kg이었다. 1.5-2.0 cm 시료를 사용하여 water bath에서 80°C, 60분간 수화시킨 다음 15분간 물을 제거하고 탄력성, 응집성을 측정하였다(Trinh & Glasgow, 2012).

조직잔사지수

조직화 압출성형 대체육의 조직형성 정도를 평가하기 위하여 조직잔사지수(integrity index)를 Han et al. (1989) 및 Park et al. (2016)의 방법으로 다음과 같이 측정하였다. 압출성형 대체육 5 g을 80°C의 물에서 30분간 수화시킨 후 121°C에서 30분간 고압 가열하였다. 흐르는 물에 냉각시킨 후 100 mL의 증류수를 부어 homogenizer (IKA, Staufen, German)로 15,000 rpm에서 1분간 균질화시키고, 20 mesh 표준체에서 흐르는 물에 1번 씻어낸 다음 105°C에서 8시간 건조시켰다. 건조 후 건물량에 시료 무게를 나누어 다음 식(3)에 따라 산출하였다.

$$\text{Integrity index} (\%) = \frac{\text{Dry residue wt.}}{\text{Sample wt.}} \times 100 \quad (3)$$

미세구조

압출성형 대체육을 80°C에서 1시간 수화시킨 후 동결

건조하여 단면을 백금으로 코팅 후 고분해능 주사전자현미경(MIRA III LMH, Tescan, Inc., Cranberry Township, PA, USA)으로 가속전력 20 kV에서 미세구조를 관찰하였다.

색도

압출성형 대체육을 분쇄하여 80 mesh 표준체를 통과한 분말을 선별한 후, 색도계(DP-400 Chroma meter, Minolta Konica, Tokyo, Japan)를 이용하여 명도(lightness, L), 적색도(redness, a), 황색도(yellowness, b) 값을 3반복 측정 한 평균값을 사용하였으며, 이 때 사용한 표준 백색 판의 L = 97.22, a = 0.32, b = 2.47 이었다.

통계처리

결과의 통계처리는 SPSS (Statistical Package for the Social Science, version 23.0) 프로그램(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

수분용해지수 및 수분흡착지수

수분함량과 배럴온도는 수분용해지수 및 수분흡착지수에 중요한 요소로서, 수화시킨 압출성형 대체육의 조직과 밀접한 관계를 가지고 있다. 배럴온도와 수분함량에 따른 수분용해지수 및 수분흡착지수의 변화는 Table 1에 나타내었다. 배럴온도 110°C에서 수분함량이 40, 45, 50%로 증가할수록 수분용해지수는 5.00±0.00, 5.00±0.00, 7.67±0.58%으로 증가하였으며, 130°C에서 각각 4.33±1.15, 6.00±0.00,

Table 1. Water solubility index and water absorption index of texturized vegetable protein at different barrel temperatures and moisture contents

Extrusion parameters		Water solubility index (%)	Water absorption index (%)
Barrel temp. (°C)	Moisture content (%)		
110	40	5.00±0.00 ^{cd1)}	190.40±1.06 ^f
	45	5.00±0.00 ^{cd}	191.87±5.97 ^f
	50	7.67±0.58 ^a	284.53±16.82 ^c
130	40	4.33±1.15 ^d	211.73±8.22 ^c
	45	6.00±0.00 ^{bc}	215.93±3.92 ^c
	50	6.33±0.58 ^{abc}	229.13±8.09 ^d
150	40	6.33±1.15 ^{abc}	311.20±1.93 ^b
	45	6.67±0.58 ^{ab}	323.20±6.01 ^{ab}
	50	7.00±1.00 ^{ab}	335.40±3.82 ^a

¹⁾Values with different letters in the same column for each barrel temperature and moisture content are significantly different (P<0.05) by Duncan's multiple range test.

6.33±0.58%으로 증가하였으며, 150°C에서 각각 6.33±1.15, 6.67±0.58, 7.00±1.00%으로 증가하였고, 배럴온도 150°C에서 수분함량 50%일 때 가장 높은 수분용해지수(7.00±1.00%)를 나타내었다.

수분흡착지수는 수분함량이 증가할수록 증가하는 경향을 보였으며, 배럴온도가 110에서 150°C로 증가함에 따라 190.40±1.06%에서 335.40±3.82%로 증가하였다. Lin et al. (2002)에 의하면 식물성 단백질 압출성형 대체육의 수분함량이 증가할수록 수분흡착지수가 증가한다는 보고와 일치하였다.

조직감

시료에 변형이 제거된 후 원상태로 돌아가는 비율이 탄력성이고, 씹힘에 대한 저항성을 이용하여 조직 형성력을 알 수 있는 것이 응집성이다(Trinh & Glasgow, 2012).

Table 2와 같이 배럴온도를 110°C로 고정시키고 수분함량을 40, 45, 50%로 변화시켰을 때, 탄력성은 83.93±2.67, 82.42±4.60, 76.38±4.74%로 감소하였고, 응집성도 68.53±6.30, 59.55±6.20, 45.07±7.38%값으로 감소하는 경향을 보였다. 배럴온도를 130°C로 고정시키고 수분함량을 40, 45, 50%로 각각 달리하였을 때 탄력성은 86.20±3.35, 85.31±2.92, 80.41±5.52%로 감소하였고, 응집성도 73.84±6.72, 71.99±7.66, 53.97±11.41%로 감소하였다. 배럴온도를 150°C로 고정시키고 수분함량을 40, 45, 50%로 하였을 때 이에 따른 탄력성은 91.96±1.27, 87.05±4.00, 86.94±3.56%로 감소하였고, 응집성 또한 85.82±2.39, 84.41±3.65, 73.02±7.91%로 감소하였다. Gu & Ryu (2017)는 분리대두단백을 압출성형하였을 때 수분함량과 스크루회전속도에 따른 응집성과 탄력성 모두 수분의 양과 상관관계가 있다고 보고하였으며, 본 실험에서도 수분함량이 증가할수록 분리대두단백과 글루텐 압출성형 대체육의 탄력성과 응집성이 감소하는

Table 2. Texture and Integrity index of texturized vegetable protein at different barrel temperature and moisture contents

Extrusion parameters		Texture		Integrity index (%)
Barrel temp. (°C)	Moisture content (%)	Elastic force (%)	Cohesiveness (%)	
110	40	83.93±2.67 ^{bc(d)}	68.53±6.30 ^b	33.73±0.36 ^b
	45	82.42±4.60 ^{cd}	59.55±6.20 ^c	36.07±0.09 ^a
	50	76.38±4.74 ^e	45.07±7.38 ^d	36.13±0.18 ^a
130	40	86.20±3.35 ^b	73.84±6.72 ^b	29.93±0.22 ^d
	45	85.31±2.92 ^{bc}	71.99±7.66 ^b	30.53±0.71 ^d
	50	80.41±5.52 ^d	53.97±11.41 ^c	31.93±0.09 ^c
150	40	91.96±1.27 ^a	85.82±2.39 ^a	16.47±0.22 ^e
	45	87.05±4.00 ^b	84.41±3.65 ^a	18.33±0.09 ^f
	50	86.94±3.56 ^b	73.02±7.91 ^b	20.53±0.09 ^e

¹⁾Values with different letters in the same column for each barrel temperature and moisture content are significantly different ($p < 0.05$) by Duncan's multiple range test.

상관관계를 보였다.

조직잔사지수

압출성형 대체육의 조직화 정도를 가장 용이하게 평가할 수 있는 방법은 관능평가이지만 섬유상 조직감을 수치상으로 나타내기 어렵다. 따라서 본 실험에서는 육고기가 가지고 있는 섬유상 조직감을 수치적으로 표현하기 위해 Park et al. (2016)의 방법을 응용하여 압출성형 대체육의 조직잔사지수를 측정하였다

조직잔사지수는 Table 2와 같이 배럴온도 110°C, 수분함량 50%일 때 36.13±0.18%로 가장 큰 값이었으며, 배럴온도 150°C, 수분함량 40%일 때 16.47±0.22%로 가장 낮은 값을 보였다. Gu & Ryu (2017)가 분리대두단백을 압출성형하였을 때 수분함량이 가장 낮은 40%에서 압출성형 대체육의 팽화가 가장 많이 일어나기 때문에 조직잔사지수가 가장 낮다고 보고하였으며, 본 실험에서 각각의 온도에서 수분함량이 40%일 때 조직의 결합력이 감소하여 조직잔사지수가 낮은 결과 값이 나타났다.

미세구조

배럴온도와 수분함량에 따른 압출성형 분리대두조직단백의 종단면(×150)의 미세구조는 Fig. 2와 같다. 수분함량이 증가할수록 단백질 조직화가 증가하여 규칙적인 섬유조직을 관찰할 수 있었다. 150°C에서는 팽화가 많이 일어났기 때문에 거친 표면과 많은 기공을 관찰할 수 있었다. 본 실험을 통해 많은 기공이 관찰된 시료일수록 수분흡수력이 높다는 것을 확인할 수 있었다(Table 1). 이는 Lin et al. (2002)이 다공질 형태의 층은 수분흡수력과 관련이 있으며, 고온에서 시료들의 팽창율이 증가하여 공기층이 커진다는 내용과 일치하였다. 배럴온도 150°C의 시료들의 조직은 닭고기 가슴살과 비슷한 섬유구조를 띄었으며 그 중 배럴온도 150°C, 수분함량 40%일 때 닭고기 가슴살 미세구조와 가장 유사한 구조를 관찰할 수 있었다.

색도

색도가 어두운 물질일수록 영양소의 손실이 일어나고, 비효소적 갈변 반응으로 단백질 구조의 아미노산 결합이 파괴될 수 있다고 보고되었다(Ryu & Ng, 2001).

배럴온도와 수분함량에 따른 압출성형 대체육의 색도는 Table 3에 나타내었다. 명도는 배럴온도 150°C, 수분함량 40%에서 가장 낮은 값인 66.45±0.01였고, 배럴온도 110°C, 수분함량 50%에서 가장 높은 68.94±0.00 값을 나타내었으며, 배럴온도 110°C에서 수분함량이 높아질수록 67.58±0.00에서 68.94±0.00으로 증가하였고, 배럴온도 130°C에서도 수분함량이 높아질수록 67.00±0.01에서 68.79±0.01으로, 배럴온도 150°C에서도 수분함량이 높아질수록 66.45±0.01에서 67.19±0.00으로 각각 증가하였다. 적색도는 배럴온도

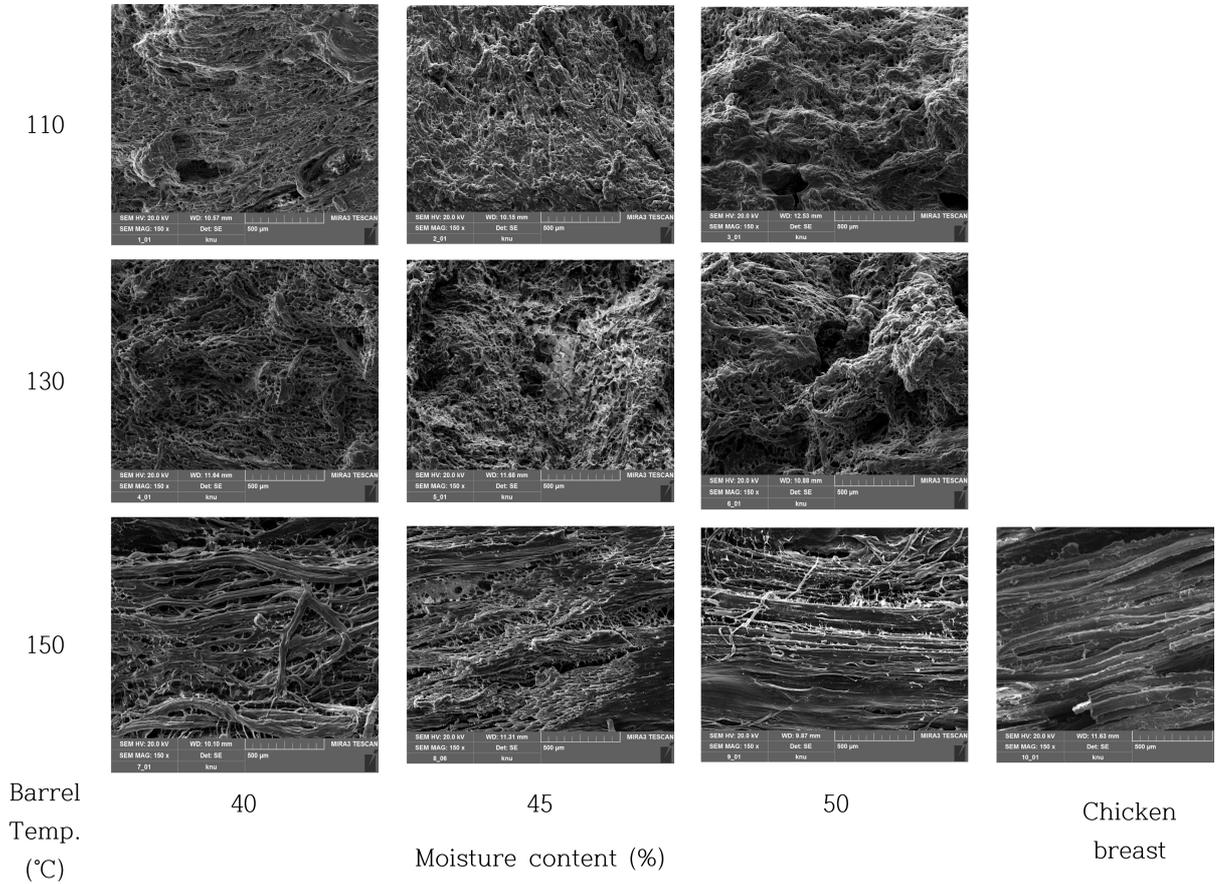


Fig. 2. Scanning electron micrographs of extruded soy protein isolate and gluten at different barrel temperature and moisture content.

Table 3. Color of texturized vegetable protein at different barrel temperature and moisture contents

Barrel temp. (°C)	Moisture content (%)	Lightness (L)	Redness (a)	Yellowness (b)
110	40	67.58±0.00 ^{e1)}	3.04±0.03 ⁱ	18.05±0.01 ⁱ
	45	68.64±0.00 ^c	3.34±0.01 ^g	18.54±0.00 ^h
	50	68.94±0.00 ^a	3.29±0.01 ^h	18.74±0.01 ^g
130	40	67.00±0.01 ^g	3.71±0.00 ^e	19.44±0.01 ^c
	45	68.49±0.01 ^d	3.73±0.01 ^d	19.15±0.01 ^e
	50	68.79±0.01 ^b	3.59±0.01 ^f	18.99±0.01 ^f
150	40	66.45±0.01 ^h	4.67±0.02 ^a	20.01±0.01 ^a
	45	66.77±0.01 ⁱ	4.38±0.02 ^c	19.28±0.01 ^d
	50	67.19±0.00 ^f	4.58±0.01 ^b	19.69±0.00 ^b

¹⁾Values with different letters in the same column for each barrel temperature and moisture content are significantly different ($p < 0.05$) by Duncan's multiple range test.

150°C, 수분함량 40%에서 4.67±0.02으로 가장 높은 값을 나타내었고, 배럴온도 110°C, 수분함량 40%에서 3.04±0.03으로 가장 낮은 값을 나타내었다. 이와 유사하게 황색도 역시 배럴온도 150°C, 수분함량 40%에서 20.01±0.01으로

가장 높은 값을 나타내었고, 배럴온도 110°C, 수분함량 40%에서 18.05±0.01으로 가장 낮은 값을 나타내었다. 이는 Altan et al. (2008)의 보고에 의하면 스크루 회전속도와 배럴온도에 의하여 온도가 높아질수록 갈변 반응이 증가하므로 색도 변화가 크다는 결과와 일치하였고, 수분함량의 증가에 따라 색도 차가 적으며 명도가 높은 것을 알 수 있었다.

요 약

본 연구는 배럴온도(110, 130, 150°C)와 수분함량(40, 45, 50%)이 식물성단백질(분리대두단백, 글루텐)의 조직화 및 물리적 특성에 미치는 영향을 분석하였다. 분리대두단백과 글루텐 압출성형 대체육의 수분용해지수는 배럴온도 110, 130, 150°C에서 수분함량이 40, 45, 50%로 높아질수록 증가하였으며, 150°C, 50%에서 7.00±1.00%로 가장 높게 나타났다. 수분흡착지수 역시 각 배럴온도에서 수분함량이 높아질수록 증가하였고, 가장 높은 값은 150°C, 50%의 수분함량에서 335.40±3.82% 나타났다. 탄력성과 응집성은 150°C, 40% 수분함량일 때 각각 91.96±1.27%, 85.82±

2.39%로 가장 높게 나타났으며, 각 배럴온도에 따른 수분 함량이 증가할수록 탄력성과 응집성은 감소하는 경향을 보였다. 조직잔사지수는 배럴온도 110, 130, 150°C에서 각각 수분함량이 40, 45, 50%로 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었으며, 배럴온도 110°C, 수분함량 50%에서 가장 높은 36.13±0.18% 결과 값을 나타내었다. 각 배럴온도에서 수분함량이 증가할수록 명도(L)는 증가하는 경향을 보였으며, 배럴온도 150°C, 수분함량 40%에서 적색도(a)와 황색도(b)는 각각 4.67±0.02, 20.01±0.01으로 가장 높게 나타났다. 미세구조를 관찰한 결과 배럴온도 150°C, 수분함량 40%에서 닭고기의 근육조직과 유사한 섬유구조를 나타내었다. 결론적으로, 분리대두단백과 글루텐 압출성형 대체육의 조직화는 배럴온도와 수분함량이 영향을 미치며, 최적의 압출성형 조건은 배럴온도 150°C, 수분함량 40%로 판단되었다.

References

- 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.
- Back SY, Do JR, Do GP, Kim HK. 2010. Effect of angiotensin-I converting enzyme inhibitory from hydrolysate of soybean protein isolate. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 39: 8-13.
- Gu BY, Ryu GH. 2017. Effects of moisture content and screw speed on physical properties of extruded soy protein isolate. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 46: 751-758.
- Han O, Lee SH, Lee HY, Oh SL, Lee CH. 1989. The effects of screw speeds and moisture contents on soy protein under texturization using a single-screw extruder. *Korean J. Food Sci. Technol.* 21: 772-779.
- Hong GJ, Kim MH, Kim KS. 2008. The effects of SPI (soybean protein isolate) on retrogradation in Jeung-pyun. *Korean J. Food Cook Sci.* 24: 304-311.
- Kennedy A. 1995. Cancer prevention by soy products. *J. Nutr.* 125: 733s-743s.
- Kim OH. 1992. Application method of isolated soy protein in meat processing. *Korea Soybean Digest.* 9: 31-49.
- Kim SO. 2006. Research and Industrial Trend of the Functional Components of Soybean. *Food science and industry.* 39(1): 2-10.
- Kim SU, Lee SJ. 2009. Starch liquefaction and residence time distribution in twin-screw extrusion of α -starch. *Korean J. Food Sci. Technol.* 41: 369-373.
- Koh BK. 1996. Effect of reducing agents on textural changes and protein modification in extruded wheat gluten. *J. East Asian Diet Life.* 6: 213-219.
- Lawton JW Jr. 1984. Influence of a process variable, temperature, and two ingredient variables, on extrusion texturization of wheat gluten. MS Thesis. Kansas State University, Manhattan, KS, USA.
- Lee YC, Song DS, Yoon SK. 2003. Effects of ISP adding methods and freezing rate on quality of pork patties and cutlets. *Korean J. Food Sci. Technol.* 35: 182-187.
- Liener IE. 1994. Implications of antinutritional components in soybean foods. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 34: 31-67.
- Lin S, Huff HE, Hsieh F. 2000. Texture and chemical characteristics of soy protein meat analog extruded at high moisture. *J. Food Sci.* 65: 264-269.
- 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.
- Liu KS, Hsieh FH. 2007. Protein-protein interactions in high moisture-extruded meat analogs and heat-induced soy protein gels. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 84: 741-748.
- Park JH, Kang DI, Ryu GH. 2016. Effects 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 HK, Lee HG. 2005. Characteristics and development of rice noodle added with isolate soybean protein. *Korean J. Food Cook Sci.* 21: 326-338.
- Park HR, Lee CH, Ahn HJ, Cha BS, Byun MW. 2004. Radiolytic and antioxidative characteristics of phytic acid by gamma irradiation. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 33: 1252-1256.
- Ryu GH. 2003. Texturization of plant protein by using extrusion process. *Food Ing. Prog.* 7: 73-79.
- Ryu GH, Ng PKW. 2001. Effects of selected process parameters on expansion and mechanical properties of wheat flour and whole commmeal extrudates. *Starch – Stärke.* 53: 147-154.
- Shin JH, Seo JK, Lee SK, Sim JH, Kim SK, Baek YJ, 1999. The change of rheological properties of nutritional beverage base by the soy protein isolate. *Korean J. Food Sci. Technol.* 31: 638-643.
- Song DB, Koh HK, Kim YH. 1994. Analysis of the TPP (texturization of plant protein) production process using twin screw extruder. *J. Biosystems Eng.* 19: 42-49.
- Trinh KT, Glasgow S. 2012. On the texture profile analysis test. *Qual. Life Chem. Eng.* 23-26: 749-760.

Author Information

문대균: 공주대학교 식품공학과 대학원생(박사과정)

김미환: 공주대학교 식품공학과 강사

류기형: 공주대학교 식품공학과 교수