

수분함량과 스크루 회전속도에 따른 압출성형 분리대두단백의 물리적 특성

구본엽 · 류기형
공주대학교 식품공학과

Effects of Moisture Content and Screw Speed on Physical Properties of Extruded Soy Protein Isolate

Bon Yeob Gu and Gi-Hyung Ryu

Department of Food Science and Technology, Kongju National University

ABSTRACT The objective of this study was to determine the effects of moisture content and screw speed on the physical properties of extruded soy protein isolate (SPI). Expansion index, water absorption index, texture, integrity index, color, and nitrogen solubility index of extruded SPI were analyzed to determine the relationship with extrusion conditions. Extrusion conditions were moisture content (40, 50, and 60%) at a fixed die temperature (140°C) and screw speed (250 rpm). The other extrusion conditions were screw speed (150, 250, and 330 rpm) at a fixed moisture content (55%) and die temperature (140°C). Specific mechanical energy (SME) input decreased as moisture content increased from 40 to 60%. However, SME input increased as screw speed increased from 150 to 330 rpm. Expansion ratio and piece density decreased as moisture content and screw speed increased, and specific length increased as moisture content and screw speed increased. The extruded SPI at 40% moisture content had higher water absorption index, texture, and color differences than those of the extruded SPI at other moisture contents (50 and 60%). However, the extruded SPI at 40% moisture content had lower integrity index and cutting strength than those of the extruded SPI at other moisture contents (50 and 60%). In conclusion, the physical properties of extruded SPI were more affected by moisture content than screw speed.

Key words: soy protein isolate, textured soy protein, moisture content, screw speed, physical properties

서 론

에너지와 영양뿐만 아니라 기능성 소재로서 화두로 떠오른 콩과 두부의 소비는 서양에서도 큰 폭으로 증가하고 있고, 이미 미국에서는 콩 단백질을 섭취하면 심장병 발병 위험을 줄일 수 있다는 식품 유용성 표시안을 공식 인정하였다(1). 또한, 콩과류에 존재하는 이소플라본은 심장질환 이외에도 항암효과, 골다공증, 신부전과 같은 만성질환의 예방에 탁월한 효과를 나타낸다(2).

콩은 장류, 두부, 콩나물 및 두유를 중심으로 시장에 형성되어 왔으며, 그 외에도 에탄올을 용매로 이용한 이소플라본 추출법이나 막 분리를 이용하여 이소플라본과 대두 올리고당을 회수하는 방법을 통해 기능성 소재로 사용하고 있다(3). 콩에 직접 화학적인 처리를 통해 이소플라본을 추출하여 사용하는 방법이 있는 반면에 물리적인 에너지를 이용하여 대두단백을 조직화하는 압출성형공정이 있다. 압출성형

공정은 경제적인 연속공정으로 혼합, 분쇄, 가열, 살균, 성형, 건조 등의 단위 조작이 단시간에 일어나며, 다양한 원료의 배합을 통해 다양한 형태의 제품을 대량 생산할 방법이다(4). 또한, 압출성형공정은 고온, 단시간으로 시료를 팽창시킬 뿐만 아니라 식물성 단백질 조직화에 용이하며, 수분을 조절함으로써 50% 수분함량 기준으로 건식 또는 습식의 시료로 나눌 수 있다.

Song 등(5)에 의하면 압출성형기를 이용한 식물성 단백질의 조직화는 1960년대 초 미국에서 처음 시도된 후 식물성 단백질 구조를 고온, 고압으로 재구성하여 물리적으로 조직화하는 방법으로써 단백질의 공급 대체수단으로 발전하고 있다고 보고하였다. 그리고 Lin 등(6)은 수분함량을 60~70%로 조절하여 고수분 압출성형공정을 하였다. 또한, 분리대두단백뿐만 아니라 밀가루 전분 10%를 첨가하여 압출성형물을 제조하였다. 콩고기의 모양, 질감, 조직감이나 조직결착력을 향상하기 위하여 콩 원료뿐만 아니라 쌀이나 밀가루의 전분질을 첨가하여 만드는 방법들이 연구되었다.

고수분 압출성형공정은 식물성 단백질을 육고기와 비슷한 조직감으로 만들 수 있는 기술이다. 또한, 수분이 압출성형공정에서 필수적인 기능을 가지고 있으므로 50% 이상에서 행해지는 습식 압출성형공정은 많은 이점을 가지고 있다.

Received 29 March 2017; Accepted 9 May 2017

Corresponding author: Gi-Hyung Ryu, Department of Food Science and Technology, Kongju National University, Yesan, Chungnam 32439, Korea

E-mail: ghryu@kongju.ac.kr, Phone: +82-41-330-1484

Chen 등(7)의 보고에 의하면 수분의 기능에는 윤활유, 가소제, 반응물질 등의 기능이 있을 뿐만 아니라, 유리 전이온도가 낮아짐으로써 반죽을 용융시키고 점도를 낮추는 기능이 있다고 보고하였다. 또한, 수분에 따라 비기계적 에너지 투입량이 달라지는데 Park 등(8)의 연구결과에서 수분이 증가할수록 비기계적 에너지 투입량이 감소하였다고 보고된바 압출성형 습식공정은 경제적이며 효율적이다. 또한, Lin 등(9)은 수분함량 30%에서 압출성형을 하면 조직이 팽화되지만 수분함량 50% 이상에서 냉각다이를 사용하여 압출성형을 하면 섬유질 및 팽창되지 않은 조직이 만들어진다고 하였다. 그래서 습식 압출성형공정은 육고기와 같은 조직감을 가지는 콩고기를 만들 수 있는 중요한 공정이라 생각된다. 분리대두단백 압출성형에 대한 연구가 다수 진행되어 있으나 습식에 대한 연구는 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 수분함량(40, 50, 60%)과 스크루 회전속도(150, 250, 330 rpm)를 달리하여 제조한 압출성형 분리대두단백의 물리적 특성의 차이를 알아보고자 비기계적 에너지 투입량, 팽화특성, 수분흡수력, 탄성력과 응집력, 절단강도, 조직잔사지수, 색도, 수용성 질소지수 등의 특성에 대하여 살펴보았다.

재료 및 방법

재료

실험에 사용한 분리대두단백(Wachsen West Road, Qingdao, China)은 중국에서 구입하여 사용하였고, 수분함량은 6.2%였다.

압출성형공정

실험에 사용된 압출성형기는 실험용 동방향 쌍축 압출성

형기(THK31T, Incheon Machinery Co., Incheon, Korea)로 직경은 30 mm, 직경과 길이의 비(L/D ratio)는 23:1이었고 스크루의 배열은 고전단력 스크루를 사용하였으며(Fig. 1A), 수분함량은 펌프로 원료사입구에 직접 물을 주입하여 조절하였다. 용융물 온도는 전열기와 냉각수를 사용하여 조절하였고 모터 용량은 7.5 HP였다. 사출구의 구조는 Fig. 1B와 같다.

수분함량에 따른 물리적 특성을 알아보기 위해 스크루 회전속도 250 rpm, 배럴 온도 140°C, 원료 투입량 100 g/min으로 고정하고 수분함량을 40, 50, 60%로 조절하였다. 스크루 회전속도에 따른 물리적 특성을 알아보기 위해 수분함량 55%, 용융물의 온도 140°C, 원료 투입량 100 g/min으로 고정하고 스크루 회전속도를 150, 250, 330 rpm으로 조절하였다. 제조된 압출성형물은 열풍건조기(DS-FCPO250, DongSeo Sci. Co., Seoul, Korea)에서 50°C로 8시간 건조하여 팽화를, 수분흡수력, 탄성력, 응집력, 절단강도, 조직잔사지수를 측정하였고, 가정용 분쇄기(FM-90T, Hanil, Haman, Korea)로 분쇄한 후 30~50 mesh의 체 망에 거른 분말을 시료로 사용하여 색도, 수용성 질소지수를 측정하였다.

비기계적 에너지

비기계적 에너지 투입량(specific mechanical energy input, SME input)은 Ryu와 Mulvaney(10)의 방법을 이용하여 압출성형기가 단위 질량당 소비한 전기에너지로 나타내었다. 즉 원료투입 시의 전력과 모터 공회전 시의 전력의 차와 압출성형물의 생산량과의 비로부터 실제 원료에 투입된 전력에너지를 구하였다. 비기계적 에너지 투입량은 식(1)과 같다.

$$SME\ input = \frac{E - E_0}{P_R} \times 100 \tag{1}$$

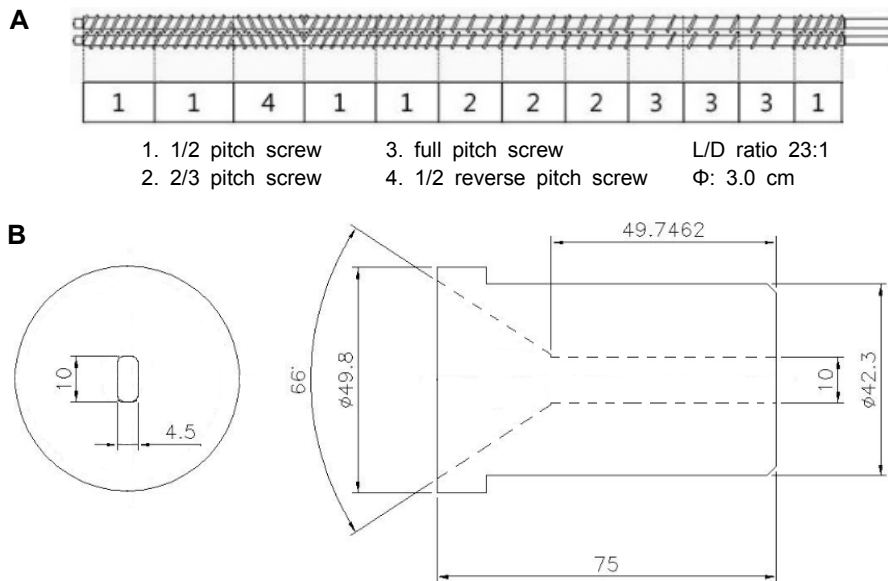


Fig. 1. Screw configuration (A) and die configuration (B) for extruding soy protein isolate.

SME input: Specific mechanical energy input (J/g)
 E: Electric power when input to material (J/s)
 E₀: Electric power when idling (J/s)
 P_R: Production rate (g/s)

팽화특성

압출성형물의 팽화율은 가로와 세로를 캘리퍼스(CD-15 C, Mitutoyo Co., Kawasaki, Japan)로 10회 측정하여 사출구 단면적과 압출성형물 단면적 비의 평균값으로 산출하였다. 비길이는 압출성형물 무게와 길이를 5회 측정하여 단위 질량당 길이의 비(mm/g)를 평균치로 산출하였다.

압출성형물의 조각밀도는 차조를 이용한 종자치환법으로 3회 반복하여 평균값을 산출하였다. 계량컵을 이용하여 무게를 측정해 압출성형물의 부피를 구한 후 밀도를 계산하였다. 압출성형물의 조각밀도는 식 (2)와 같다.

$$\rho_F = \frac{M}{M + M_0 - M_1} \rho \quad (2)$$

ρ_F : Piece density of extrudate (g/cm³)

ρ : Bulk density of millet (g/cm³)

M: Mass of extrudate (g)

M₀: Mass of millet in cup (g)

M₁: Mass of extrudate and millet in cup (g)

수분흡수력

압출성형물의 수분흡수력(water absorption capacity)은 1.5~2.0 cm 시료를 water bath를 이용하여 90°C에서 1시간 30분간 수화를 시켰다. 그다음 15분간 물을 제거하고 젖은 시료의 무게를 측정했다. 건조된 시료와 젖은 시료의 무게를 이용하여 식 (3)에 대입하여 값을 산출하였다(6).

$$\text{Water absorption capacity (\%)} = \frac{\text{Wet sample wt.} - \text{Dry sample wt.}}{\text{Dry sample wt.}} \times 100 \quad (3)$$

조직감

수화된 압출성형물의 탄력성(elastic force)과 응집성(cohesiveness)은 Sun Rheometer(Compac-100II, Sun Sci. Co., Tokyo, Japan)를 사용하여 3회 측정 후 평균값을 산출하였다. 탐침 1번으로 측정하였고, 직경은 2 cm였으며, 측정조건은 최대응력 2 kg이었다. 1.5~2.0 cm 시료를 사용하여 water bath에서 90°C, 1시간 30분간 수화시킨 다음 15분간 물을 제거하고 탄력성과 응집성을 측정했다. Trinh과 Glasgow(11)가 제시한 식 (4)와 식 (5)를 이용하여 탄력성과 응집성을 계산하였다.

$$\text{Elastic force (\%)} = \frac{\text{Length}_2}{\text{Length}_1} \times 100 \quad (4)$$

$$\text{Cohesiveness (\%)} = \frac{\text{Area}_2}{\text{Area}_1} \times 100 \quad (5)$$

절단강도(cutting strength)는 압출성형물의 조직결착력을 알아볼 수 있는 실험으로 수화된 압출성형물의 절단강도는 Sun Rheometer(compac-100II, Sun Sci. Co.)를 사용하여 3회 측정 후 평균값을 산출하였다. 측정조건은 탐침 8번을 사용하였고, 최대응력 2 kg이었다. 1.5~2.0 cm의 시료를 water bath에 넣어 90°C에서 1시간 30분간 수화를 시킨 다음 15분간 물을 제거하고 강도를 측정했다. 절단강도는 단면 방향과 사출 방향의 절단력을 압출물의 단면적으로 나누어 식 (6)에 따라 산출하였다.

$$\text{Cutting strength} = \frac{\text{Strength (g)}}{(\text{g/cm}^2)} = \frac{\text{Strength (g)}}{\text{Cutting area (cm}^2)} \times 100 \quad (6)$$

조직잔사지수

조직화 압출성형물의 조직형성 정도를 평가하기 위하여 조직잔사지수(integrity index)를 다음과 같이 측정하였다. 건조된 시료 약 5 g을 채취하여 water bath 90°C에서 1시간 동안 수화시킨 후 121°C에서 30분간 고압 가열하였다. 흐르는 물에 냉각시킨 후 100 mL의 증류수를 부어 14,450 rpm에서 1분간 균질화시키고 20 mesh 체로 흐르는 물에 1번 씻어낸 후 105°C에서 4시간 건조했다. 건조한 잔여물의 무게를 시료의 무게로 나누어 식 (7)에 따라 산출하였다(8).

$$\text{Integrity index (\%)} = \frac{\text{Dry residue wt.}}{\text{Sample wt.}} \times 100 \quad (7)$$

색도

조직화 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 측정 후 평균값으로 나타내고 식 (8)로 색차도(color difference, ΔE) 값을 나타내었다. 표준 색판의 값은 L=96.59, a=0.96, b=2.54였다.

$$\Delta E = \sqrt{(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2} \quad (8)$$

수용성 질소지수

압출성형물의 수용성 질소지수(nitrogen solubility index, NSI)는 Daun과 Kisilowsky(12)의 방법을 사용하였다. 시료 1.5 g을 0.5%의 KOH 용액 75 mL에 넣고 30°C의 Shaker(SI-300R, Jelotech, Gangneung, Korea)에 120 rpm으로 교반하였다. 그중 50 mL를 취하여 2,000 rpm에서 20분 동안 원심분리 한 후 0.5 mL의 상등액을 최종적으로 취하여 Starcher(13)의 방법으로 ninhydrin을 사용하여 수용성 질소 함량(soluble nitrogen content)을 측정하였다. 총 질소 함량(total nitrogen content in sample)은 시료 1.5 g을 6 N의 염산 100°C에 24시간 동안 완전히 가수분해하여 75 mL의 증류수에 녹인 후 상등액 0.5 mL를 취하여 ninhydrin 방법으로 측정하여 식 (9)에 대입하여 계산하였다.

$$\text{NSI} (\%) = \frac{\text{Soluble nitrogen content}}{\text{Total nitrogen content in sample}} \times 100 \quad (9)$$

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

비기계적 에너지

압출성형공정에서 비기계적 에너지 투입량은 시료의 종류, 수분의 함량, 스크루 회전속도 등 다양한 조건에 따라 변화한다. Yeh와 Jaw(14)의 보고에 의하면 비기계적 에너지 투입량은 시스템 변수로 사용될 뿐만 아니라 팽화, 밀도, 기하학적인 특성에 관련이 있다. 또한, 비기계적 에너지, 압출물 온도, 체류시간을 통해 팽화된 압출물의 팽화율과 관능적 품질 특성 등을 예측할 수 있다고 하였다.

수분함량과 스크루 회전속도에 따른 비기계적 에너지 투입량은 Table 1에 나타내었다. 수분함량이 40%, 스크루 회전속도가 250 rpm일 때 가장 높은 비기계적 에너지 투입량은 546.11 J/g이었고, 수분함량이 55%, 스크루 회전속도 150 rpm이었을 때 가장 낮은 비기계적 에너지 투입량은 45.51 J/g이었다. 이는 Ryu와 Ng(15)가 밀가루와 옥수수를 압출하였을 때 수분함량이 낮을수록 배럴 내의 용융물 점성이 증가하기 때문에 비기계적 에너지 투입량이 증가한다고 보고하였는데, 분리대두단백의 비기계적 에너지 투입량 변화도 비슷하였다.

스크루 회전속도에 따라 비기계적 에너지 투입량은 각각 150 rpm에서 45.51 J/g, 250 rpm에서 68.26 J/g, 330 rpm에서 91.02 J/g으로 스크루 회전속도가 증가할수록 증가하였다. Yeh와 Jaw(14)의 연구결과에 의하면 쌀가루로 압출하였을 때 용융부분의 점성소실 때문에 스크루 회전속도가 증가할수록 비기계적 에너지 투입량이 증가한다고 보고한

바, 분리대두단백의 비기계적 에너지 투입량 변화도 이와 유사한 경향을 나타내었다.

본 실험에서는 스크루 회전속도(150, 250, 330 rpm)에 따라 45.51, 68.26, 91.02 J/g, 수분함량(40, 50, 60%)에 따라 546.11, 204.79, 91.02 J/g의 결과 값으로 보아 비기계적 에너지 투입량은 스크루 회전속도보다는 수분함량에 영향을 많이 받는 것으로 생각한다.

팽화특성

팽화는 온도, 압력에 영향을 받고, 원료는 팽화특성에 영향을 주는 요인이다(16). 압출성형공정에서 수분함량과 스크루 회전속도에 따른 팽화특성인 팽화율, 비길이, 조각밀도의 변화를 Table 1에 나타내었다. 팽화율은 40% 수분함량에서 250 rpm일 때 가장 높은 값인 2.67 ± 0.18 이었으며, 50% 수분함량에서 1.33 ± 0.06 , 60% 수분함량에서 1.06 ± 0.15 값으로 수분함량이 증가할수록 팽화율이 감소하였다. Ryu와 Lee(17)의 수분함량이 높으면 압출성형기 내부물질의 점탄성과 충전물 양이 감소하면서 압력이 낮아져 팽화율이 감소한다는 보고와 일치하였다. 또한, Park(8)이 분리대두단백을 사용하여 압출성형 하였을 때 20% 수분함량에서 25% 수분함량으로 증가할수록 팽화율이 감소한 결과와 일치하였다. Stojceska 등(18)의 밀가루 원료를 사용하여 압출하였을 때 수분함량이 증가할수록 내부 반죽 흐름이 원활하여 압력이 감소하기 때문에 팽화가 저하된다는 보고와 압출성형 분리대두단백의 팽화율 변화도 유사한 경향을 나타내었다. 수분함량을 55% 고정된 후 스크루 회전속도 150 rpm에서는 1.15 ± 0.09 였고, 250, 330 rpm에서는 각각 1.13 ± 0.07 , 1.04 ± 0.06 값으로 스크루 회전속도에 따른 팽화율 값은 유의적인 차이가 없었다.

비길이는 60% 수분함량에서 250 rpm일 때 가장 높은 값인 29.20 ± 1.01 mm/g이었으며, 수분함량이 50, 40%에서는 각각 22.30 ± 0.60 , 19.98 ± 0.58 mm/g으로 감소하였다. 이는 Alvarez-Martinez 등(19)이 수분함량이 증가하면 점도가 낮아져 사출구를 통과하였을 때 평균유속이 증가하여 길이팽화지수가 증가한다는 보고와 일치하였다. 또한, Mahasukhonthachat 등(20)은 수분주입량이 증가할수록 수분 증발이 감소하여 기공 형성이 되지 않아 비길이가 증가

Table 1. Specific mechanical energy input and expansion properties of extruded soy protein isolate with different moisture content and screw speed at barrel temperature 140°C

Extrusion parameters		Specific mechanical energy (J/g)	Expansion ratio	Specific length (mm/g)	Piece density (g/cm ³)
MC (%) ¹⁾	Screw speed (rpm)				
40	250	546.11	$2.67 \pm 0.18^{a2)}$	19.98 ± 0.58^d	0.49 ± 0.02^c
50		204.79	1.33 ± 0.06^b	22.30 ± 0.60^c	0.64 ± 0.03^a
60		91.02	1.06 ± 0.15^c	29.20 ± 1.01^a	0.64 ± 0.03^a
55	150	45.51	1.15 ± 0.09^c	24.16 ± 0.63^b	0.55 ± 0.02^b
	250	68.26	1.13 ± 0.07^c	25.04 ± 0.58^b	0.49 ± 0.02^c
	330	91.02	1.04 ± 0.06^c	28.70 ± 0.68^a	0.48 ± 0.03^c

¹⁾Moisture content.

²⁾Values with different letters in the same column indicate significant differences ($P < 0.05$).

하였다고 보고하였는데 수분함량에 따른 압출성형 분리대두단백의 비질이 변화 경향과 일치하였다. 수분함량이 55%에서 스크루 회전속도를 달리하였을 때 스크루 회전속도가 증가할수록 비질의 값이 증가하였는데, 수분함량이 증가할수록 값이 증가한 것과 마찬가지로 평균유속이 증가함으로써 비질이 증가한 것으로 생각된다.

조각밀도는 스크루 회전속도를 250 rpm에서 수분을 40, 50, 60%로 각각 달리하였을 때 0.49 ± 0.02 , 0.64 ± 0.03 , 0.64 ± 0.03 g/cm³로 증가하였으며, 수분을 55%에서 스크루 회전속도를 150, 250 330 rpm으로 각각 달리하였을 때는 0.55 ± 0.02 , 0.49 ± 0.02 , 0.48 ± 0.03 g/cm³로 감소하였다.

Edou 등(21)은 수분함량과 배럴 온도에 따른 카사바 전분 압출성형물의 물리적 특성을 비교하였는데, 분리대두단백의 팽화특성 변화 경향과 비슷하다는 것을 알 수 있었다. 또한, Kim 등(22)은 쌀, 밀가루, 옥수수 등 여러 종류의 곡류를 수분함량에 따라 압출성형을 하여 물리적 특성을 비교하였다. 곡류들의 팽화특성은 수분이 증가할수록 팽화율은 감소하고 비질이는 대체로 증가하였으며 조각밀도는 증가하였는데, 수분함량에 따른 전분질 위주의 곡류 압출성형물과 분리대두단백 압출성형물의 팽화특성 변화도 유사한 경향을 보였다.

수분흡수력

수분흡수력은 압출성형물의 기공, 즉 다공질형태의 층과 관련이 있고 특히 수분함량과 용융 온도는 수분흡수력에 중요한 요소이다(9). 또한, 시료들이 팽창할수록 공기층이 커지기 때문에 수화할 때 물을 더 많이 흡수하게 되어 수분흡수력이 높다고 보고하였다. 즉 수분흡수력은 수화시킨 압출성형물의 조직과 아주 밀접한 관계를 가지고 있다. Table 2에 수분흡수력의 값을 나타내었다.

수분흡수력은 수분함량이 40%, 스크루 회전속도 250 rpm일 때 가장 높은 값($466.34\pm 16.37\%$)이었다. 이는 분리대두단백을 수분함량 40%에서 압출성형 하면 시료의 조직이 팽창함으로써 많은 공기층이 형성되어 수화시켰을 때 물을 많이 흡수하여 높은 값이 나온 것으로 생각된다. 또한, 스크루 회전속도가 150 rpm에서 330 rpm으로 증가할수록

수분흡수력 258.90 ± 8.26 , 294.71 ± 4.30 , 347.84 ± 10.30 %로 증가하였다. 이는 스크루 회전속도가 증가할 때 모터에 너지의 상당량이 자가 발열 에너지로 전환(23)되기 때문에 스크루 회전속도가 압출성형물의 기공 형성에 영향을 주었다고 생각된다.

탄력성과 응집성

탄력성은 시료에 변형력이 제거되고 나서 원상태로 돌아가는 비율이고, 응집성은 찹힘에 대한 저항성을 이용하여 조직 형성력을 알 수 있다(11).

스크루 회전속도를 250 rpm으로 고정하고, 수분함량 40, 50, 60%에 따른 탄력성은 80.15 ± 0.93 , 72.06 ± 5.78 , $69.70\pm 1.17\%$ 로 감소하였다. 응집성은 각각 51.71 ± 5.50 , 46.39 ± 8.04 , $44.89\pm 2.13\%$ 값으로 유의적인 차이가 없었다. 수분함량을 55%로 고정하고 스크루 회전속도를 150, 250, 330 rpm으로 각각 달리하였을 때, 탄력성은 63.69 ± 1.01 , 72.47 ± 1.15 , $76.58\pm 3.48\%$ 로 증가하였고 응집력은 각각 49.03 ± 2.03 , 50.94 ± 1.93 , $60.55\pm 3.94\%$ 였다. 탄력성은 수분흡착지수와 비례관계를 나타낸 것으로 보아 수분흡착지수와 마찬가지로 기공의 구조와 관련이 있는 것으로 생각된다.

절단강도는 스크루 회전속도가 250 rpm, 수분함량이 40, 50, 60%일 때 수직 방향의 값은 각각 320.36 ± 14.29 , $1,078.27\pm 129.14$, $1,241.68\pm 125.37$ g/cm²였다. 그리고 수평 방향의 값은 346.84 ± 34.53 , $1,146.20\pm 13.44$, $2,063.84\pm 159.27$ g/cm²였다. 수분함량 55%, 스크루 회전속도가 150, 250, 330 rpm일 때 수직 방향의 값은 각각 $1,685.26\pm 203.81$, $1,457.63\pm 26.45$, $1,255.83\pm 162.56$ g/cm²였고, 수평 방향의 값은 $1,741.87\pm 281.07$, $1,198.02\pm 179.22$, 832.99 ± 18.87 g/cm²였다. 이처럼 수직과 수평 방향의 값은 서로 비례관계를 나타내고 수분함량이 증가할수록 절단강도의 값은 증가하였고, 스크루 회전속도가 증가할수록 절단강도의 값은 감소하였다.

조직잔사지수

육고기가 가지고 있는 섬유상 조직감을 수치적으로 표현

Table 2. Water absorption index and texture of extruded soy protein isolate with different moisture content and screw speed at barrel temperature 140°C

Extrusion parameters		Water absorption capacity (%)	Elastic force (%)	Cohesiveness (%)	Cutting strength (g/cm ²)	
MC (%) ¹⁾	Screw speed (rpm)				Cross direction	Machine direction
40	250	$466.34\pm 16.37^{a2)}$	80.15 ± 0.93^a	51.71 ± 5.50^b	320.36 ± 14.29^d	346.84 ± 34.53^e
50		276.69 ± 18.81^{cd}	72.06 ± 5.78^{bc}	46.39 ± 8.04^{bc}	$1,078.27\pm 129.14^c$	$1,146.20\pm 13.44^c$
60		275.86 ± 5.47^{cd}	69.70 ± 1.17^c	44.89 ± 2.13^c	$1,241.68\pm 125.37^{bc}$	$2,063.84\pm 159.27^a$
55	150	258.90 ± 8.26^d	63.69 ± 1.01^d	49.03 ± 2.03^{bc}	$1,685.26\pm 203.81^a$	$1,741.87\pm 281.07^b$
	250	294.71 ± 4.30^c	72.47 ± 1.15^{bc}	50.94 ± 1.93^{bc}	$1,457.63\pm 26.45^{ab}$	$1,198.02\pm 179.22^c$
	330	347.84 ± 10.30^b	76.58 ± 3.48^{ab}	60.55 ± 3.94^a	$1,255.83\pm 162.56^{bc}$	832.99 ± 18.87^d

¹⁾Moisture content.

²⁾Values with different letters in the same column indicate significant differences ($P<0.05$).

하기 위해 사용하는 조직보존성 측정법을 압출성형물 조직화 평가에 적합하도록 수정하여 조직잔사지수를 사용하였다(24). 수분함량과 스크루 회전속도에 따른 조직잔사지수는 Table 3에 표기하였다. 수분함량이 40%일 때 $0.52 \pm 0.24\%$ 였으며, 수분이 50%에서 60%로 증가할수록 13.53 ± 6.82 , $25.57 \pm 9.43\%$ 로 잔사지수가 증가하는 경향을 알 수 있었다.

이는 수분함량이 낮은 상태에서 압출하였을 때 팽화가 일어났기 때문에 조직의 결합력이 떨어졌다고 생각된다. 수분함량 55%, 스크루 회전속도 150 rpm일 때 가장 높은 값인 $30.92 \pm 14.90\%$ 였다. 스크루 회전속도가 250 rpm에서 330 rpm으로 증가할수록 조직잔사지수는 23.58 ± 14.12 , $7.93 \pm 6.62\%$ 로 감소하였다.

색도

색도는 압출성형 과정 중에 변하는 물리적 특성 중 하나이고, 압출성형 과정 중에서 높은 온도 때문에 색깔이 변하여 갈변 반응과 단백질 변성과 같은 변화가 일어난다. 또한, 색도가 어두운 물질일수록 영양소의 손실이 일어나고, 비효소적 갈변 반응은 단백질 구조상의 아미노산 결합이 파괴될 수 있다고 보고하였다(15).

수분함량과 스크루 회전속도에 따른 압출성형 분리대두 단백질의 색도는 Table 3에 나타내었다. 명도는 수분함량 40%에서 가장 낮은 값인 46.68 ± 0.42 였고, 수분함량이 50%에서 60%로 증가할수록 압출성형물의 명도는 52.25 ± 0.27 , 52.70 ± 0.42 로 증가하였다. 적색도는 수분함량 40%에서 가장 높은 값(5.19 ± 0.11)을 나타내었다. 수분함량 50%, 60%에서 각각 4.79 ± 0.16 , 4.91 ± 0.11 이었다. 반대로 황색도는 수분함량이 40%에서 60%로 증가할수록 19.37 ± 0.52 , 23.59 ± 0.05 , 23.93 ± 0.25 로 증가하는 값을 나타내었다. 스크루 회전속도(150, 250, 330 rpm)에 따른 색도는 유의미하지 않았으나 가장 낮은 명도의 압출성형 조건에서 적색도와 황색도가 높게 나왔다.

총 색도 차는 수분함량 40%, 스크루 회전속도 250 rpm에서 가장 큰 값인 36.28 ± 0.40 을 나타낸 것으로 보아 원료의

색도와 큰 차이를 나타냈다. 또한, 수분함량 60%, 스크루 회전속도 250 rpm에서 가장 적은 값인 30.88 ± 0.38 이 나온 것을 통해 기존 원료와 유사한 색도를 유지하고 있었다. 이는 Park(8)이 온도의 증가와 수분 감소로 인한 갈변으로 색도 차가 증가한 것이라고 보고한 내용과 일치하였다. 고수분일수록 원료와 색도 차가 적으며 명도가 높은 것으로 보아 고수분일수록 영양소의 파괴가 적게 일어나고 조직이 잘 형성되었다고 생각된다.

수용성 질소지수

우리 몸을 구성하고 있는 단백질은 아미노산 질소 화합물로, 질소는 우리 몸의 면역 체계와 호르몬 조절 등을 담당하는 필수 구성 성분이다(25). 수용성 질소지수는 강한 수용성의 성질을 가지고 있는 아미노산을 선택적으로 검출할 수 있는 방법이고, 조직화 성형 시 단백질의 변성 정도를 나타내어 주는 지표로 사용된다(24).

수분함량과 스크루 회전속도에 따른 수용성 질소지수를 Table 3에 나타내었다. 수분함량이 40%에서 60%까지 증가할수록 수용성 질소지수는 75.25 ± 0.59 , 66.06 ± 2.63 , $64.52 \pm 2.26\%$ 로 감소하였고, 스크루 회전속도가 150 rpm에서 330 rpm으로 증가할수록 수용성 질소지수는 57.74 ± 1.98 , 70.66 ± 10.94 , $80.57 \pm 3.06\%$ 로 증가하였다. Park 등(8)의 보고에 의하면 Bradford 법을 사용하여 수용성 질소지수를 측정하였을 때, 수분함량이 증가할수록 수용성 질소지수가 감소하고 스크루 회전속도가 감소할수록 배럴 내 체류시간이 길어짐에 따라 수용성 단백질의 변성이 일어나 수용성 질소지수가 감소했다는 결과와 일치하였다. 그리고 Han 등(24)에 의하면 수분함량이 증가할수록 습윤가열로 인하여 분리대두단백의 불용성화가 촉진하여 수용성 질소지수가 감소하였다는 보고와 일치하였다. 또한, 수분함량과 스크루 회전속도에 따른 수용성 질소지수와 조직잔사지수의 상관관계를 Fig. 2에 나타내었다. 수용성 질소지수가 증가하면 조직잔사지수가 감소하는 음의 상관관계를 나타내었다($R^2=0.7444$).

Table 3. Integrity index, color, and nitrogen solubility index of extruded soy protein isolate with different moisture content and screw speed at barrel temperature 140°C

Extrusion parameters		Integrity index (%)	Color			Color difference	Nitrogen solubility index (%)
MC ¹⁾ (%)	Screw speed (rpm)		Lightness	Redness	Yellowness		
Control			82.63 ± 0.02	0.69 ± 0.01	17.62 ± 0.06		83.63 ± 2.37
40	250	$0.52 \pm 0.24^{c2)}$	46.68 ± 0.42^d	5.19 ± 0.11^b	19.37 ± 0.52^b	36.28 ± 0.40^a	75.25 ± 0.59^{ab}
50		13.53 ± 6.82^{bc}	52.25 ± 0.27^{ab}	4.79 ± 0.16^c	23.59 ± 0.05^a	31.23 ± 0.27^{cd}	66.06 ± 2.63^{cd}
60		25.57 ± 9.43^{ab}	52.70 ± 0.42^a	4.91 ± 0.11^c	23.93 ± 0.25^a	30.88 ± 0.38^d	64.52 ± 2.26^{cd}
55	150	30.92 ± 14.90^a	51.83 ± 0.22^{bc}	5.29 ± 0.04^{ab}	23.37 ± 0.22^a	31.67 ± 0.17^{bc}	57.74 ± 1.98^d
	250	23.58 ± 14.12^{ab}	51.47 ± 0.33^c	5.47 ± 0.18^a	23.74 ± 0.67^a	32.12 ± 0.28^b	70.66 ± 10.94^{bc}
	330	2.54 ± 0.51^c	51.77 ± 0.24^{bc}	5.28 ± 0.09^{ab}	23.58 ± 0.46^a	31.77 ± 0.18^{bc}	80.57 ± 3.06^a

¹⁾Moisture content.

²⁾Values with different letters in the same column indicate significant differences ($P < 0.05$).

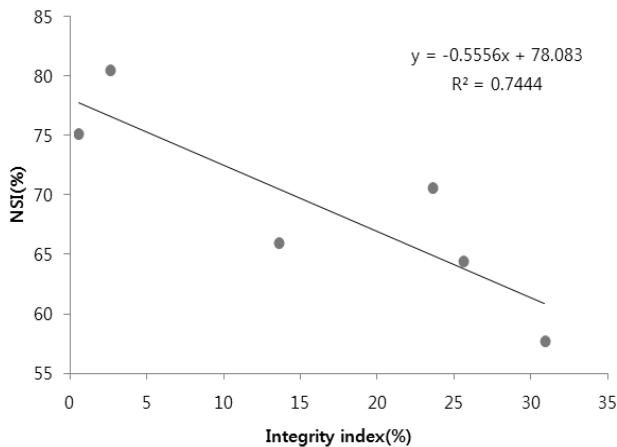


Fig. 2. Relationship between nitrogen solubility index (NSI) and integrity index of extruded soy protein isolate at different conditions.

요 약

본 연구는 수분함량과 스크루 회전속도가 식물성 단백질의 조직화 및 물리적 특성에 미치는 영향을 분석하기 위해 스크루 회전속도 250 rpm, 배럴 온도 140°C로 고정하고, 수분함량을 40, 50, 60%로 조절하였다. 또 다른 압출성형공정은 수분함량 55%, 용융물의 온도 140°C로 고정하고 스크루 회전속도를 150, 250, 330 rpm으로 조절하였다. 분리대두단백 압출성형물의 팽화율은 수분함량과 스크루 회전속도가 감소할수록 증가하였으나, 비길이는 수분함량과 스크루 회전속도가 증가할수록 증가하였다. 조각밀도는 수분함량과 스크루 회전속도가 감소할수록 증가하였다. 색도는 수분함량이 40%일 때 가장 낮은 명도(46.68 ± 0.42)와 황색도(19.37 ± 0.52)를 나타내었다. 수분함량이 50%에서 60%로 증가할수록 명도는 52.25 ± 0.27 , 52.70 ± 0.42 로 증가하였다. 색도 차는 수분함량이 60%, 스크루 회전속도 250 rpm일 때 30.88 ± 0.38 로 기존 원료의 색도와 차이가 가장 작았다. 수분흡착지수는 수분함량이 40%일 때 가장 큰 값인 482.24% 였으며, 스크루 회전속도가 150 rpm에서 330 rpm으로 증가할수록 258.90 ± 8.26 , 294.71 ± 4.30 , $347.84 \pm 10.30\%$ 로 증가하였다. 탄성력과 응집력은 양의 상관관계를 보였으며, 수분함량이 40%일 때 탄력성과 응집성이 각각 80.15 ± 0.93 , $51.71 \pm 5.50\%$ 였다. 50%에서 60%로 증가할수록 탄력성과 응집성은 감소하였으나 스크루 회전속도가 증가할수록 값은 증가하는 경향을 보였다. 절단강도는 수분함량이 40%에서 60%로 증가할수록, 스크루 회전속도가 낮을수록 높은 값을 나타냈다. 수용성 질소지수는 수분함량 55%, 스크루 회전속도 330 rpm일 때 가장 높은 값인 $80.57 \pm 3.06\%$ 였다. 또한, 수분함량이 40%에서 50%로 증가할수록 75.25 ± 0.59 에서 $66.06 \pm 2.63\%$ 로 감소하였다. 조직잔사지수는 수분함량이 증가할수록, 스크루 회전속도가 낮을수록 증가하였고, 스크루 회전속도가 150 rpm일 때 가장

높은 값(30.92%)을 나타내었다. 결론적으로 고수분함량(60%)과 낮은 스크루 회전속도(150 rpm)일 때 조직감과 조직잔사지수가 높고 수용성 질소지수가 낮았으므로 조직 결합력이 향상된 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 한국연구재단의 2016년도 지역혁신창의인력양성사업(2016H1C1A1035974)에 의하여 수행된 연구 결과의 일부로 연구비 지원에 감사드립니다.

REFERENCES

- Shin SJ, Seo JM, Bae KG, Ryu YK, Yeo IH. 2010. Present situation and action of soybean processing industry. *Korea Soybean Digest* 27(1): 6-30.
- Kim JS. 1996. Current research trends on bioactive function of soybean. *Korea Soybean Digest* 13(2): 17-24.
- Kim SO. 2006. Research and industrial trend of the functional components of soybean. *Food Science and Industry* 39(1): 2-10.
- 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.
- 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.
- 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.
- Chen FL, Wei YM, Zhang B. 2011. Chemical cross-linking and molecular aggregation of soybean protein during extrusion cooking at low and high moisture content. *LWT - Food Sci Technol* 44: 957-962.
- 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.
- 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.
- Ryu GH, Mulvaney SJ. 1997. Analysis of physical properties and mechanical energy input of cornmeal extrudates for fortified with dairy products by carbon dioxide injection. *Korean J Food Sci Technol* 29: 947-954.
- Trinh KT, Glasgow S. 2012. On the texture profile analysis test. *Qual Life Chem Eng* 23-26: 749-760.
- 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, Canada. <http://www.regional.org.au/au/gc/circ/5/222.htm> (accessed Nov 2016).
- Starcher B. 2011. A ninhydrin-based assay to quantitate the total protein content of tissue samples. *Anal Biochem* 292: 125-129.
- Yeh AI, Jaw YM. 1999. Effects of feed rate and screw speed on operating characteristics and extrudate properties during single-screw extrusion cooking of rice flour. *Cereal Chem* 76: 236-242.

15. 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.
16. Fallahi P, Rosentrater KA, Muthukumarappan K, Tulbek M. 2013. Effects of steam, moisture, and screw speed on physical properties of DDGS-based extrudates. *Cereal Chem* 90: 186-197.
17. 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.
18. Stojceska V, Ainsworth P, Plunkett A, İbanoglu S. 2008. The recycling of brewer's processing by-product into ready-to-eat snacks using extrusion technology. *J Cereal Sci* 47: 469-479.
19. Alvarez-Martinez L, Kondury KP, Harper JM. 1988. A general model for expansion of extruded products. *J Food Sci* 53: 609-615.
20. Mahasukhonthachat K, Sopade PA, Gidley MJ. 2010. Kinetics of starch digestion and functional properties of twin-screw extruded sorghum. *J Cereal Sci* 51: 392-401.
21. Eodu OS, Gu BJ, Kim YS, Ryu GH. 2011. Effects of feed moisture and barrel temperature on physical and pasting properties of cassava starch extrudate. *Korean J Food Preserv* 18: 271-278.
22. 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.
23. Chung MY, Lee SJ. 1997. Analysis of the thermal/mechanical energy in food extrusion process. *Korean J Food Sci Technol* 29: 65-71.
24. 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.
25. Yoo G, Bai SC. 2014. Effects of different dietary protein sources on apparent digestibility and growth in juvenile river puffer *Takifugu obscurus*. *Kor J Fish Aquat Sci* 47: 383-389.