

스크루 회전속도, 수분 함량과 사출구 온도가 압출성형 분리대두단백의 조직화에 미치는 영향

박지훈 · 강대일 · 류기형
공주대학교 식품공학과

Effects of Screw Speed, Moisture Content, and Die Temperature on Texturization of Extruded Soy Protein Isolate

Ji Hoon Park, Dae Il Kang, and Gi Hyung Ryu

Department of Food Science and Technology, Kongju National University

ABSTRACT The aim of this study was to investigate the effects of screw speed, moisture content, and die temperature on the physical properties of extruded soy protein isolate. Extrusion conditions were moisture content (20 and 25%) and die temperature (120, 130, and 140°C) at a fixed screw speed of 250 rpm. The other extrusion conditions for screw speed (150, 200, 250, 300, and 330 rpm) were a fixed moisture content and die temperature of 30% and 140°C, respectively. Specific mechanical energy input decreased as die temperature increased from 120 to 140°C, whereas specific mechanical energy input increased as screw speed increased from 150 to 330 rpm. Expansion ratio and specific length increased as die temperature increased. Breaking strength decreased as die temperature increased and moisture content decreased. A lower moisture content resulted in a greater color difference. Integrity index increased as die temperature increased from 120 to 140°C and moisture content decreased from 25 to 20%. Nitrogen solubility index decreased as screw speed increased from 150 to 330 rpm. Nitrogen solubility index was lowest at $2.83 \pm 0.51\%$ as screw speed decreased to 150 rpm. In conclusion, moisture content was a more important factor than die temperature for texturization of soy protein isolate.

Key words: screw speed, moisture content, die temperature, soy protein isolate, texturization

서 론

대두는 세계적으로 생산량이 꾸준히 증가하고 있는 주요 농산물이다. 국내에서 대두를 이용한 두유, 두부, 된장, 간장, 콩나물 등 다양한 식품이 일상에서 폭넓게 식용되고 있고, 산업적으로는 대두유, 가축사료, 유화제와 이소플라본 등의 원료로 사용되고 있다(1). 대두단백은 육단백질 대체원료로 사용하기도 하며 소비자들의 건강과 다이어트에 대한 높은 관심으로 인해 육류 기피현상이 증가하면서 그 대체 식품으로 식물성 콩고기에 대한 수요가 증가하고 있다(2).

대두 단백질은 동물성 단백질보다 체중 및 지방섭취 증가를 억제하고 혈중지질과 체지방을 감소시켜 심혈관 질환 및 비만과 관련된 질환 개선 효과가 있다(3). 콩고기는 주로 조직대두단백과 소량의 밀 글루텐, 전분 등으로 제조되며, 현재 다양한 모양, 맛, 질감을 가진 콩고기가 판매되고 있으나 비린내, 조직감 등 품질 상태는 개선되어야 할 점이 많다(4).

이에 따라 콩고기의 단점을 개선하기 위해 조직화 개선방법으로 냉각 다이를 이용하여 근육과 유사한 결을 가지게 하거나(5) 쌀이나 밀가루 등의 전분질이 많은 원료에 탈지대두를 첨가하여 조직 내의 공간을 감소시켜 기포 간의 벽을 두껍게 해서 스낵모양에서 육질형태로 만들고 탈지대두분 대신에 농축 또는 분리대두단백을 원료로 하여 조직화를 촉진하는 방법(6)이 연구되었다.

압출성형에서 원료는 공급 부분에서 가수되어 반죽상태로 되며 나선형 스크루를 따라 이동하면서 순간적으로 압축시킬 때 발생하는 열과 기계적 응력에 의해 고온고압 하에 용융상태로 변하고 사출구를 통해 압출되면서 급격한 압력강하로 인해 팽화되는데(7), 이때 단백질 매트릭스의 형성과 충류의 흐름과 함께 성형이 일어난다(8). Frazier 등(9)은 대두조직화 공정변수의 최적화 연구에서 사출구 직경이 중요한 조직화 요소였으나 더 큰 영향을 주는 것은 스크루 회전속도와 원료의 수분 함량이라고 보고하였다. 압출성형기의 스크루 회전속도와 원료 수분 함량이 대두단백질의 조직화에 미치는 영향 연구에서 스크루 회전속도가 증가할수록 조직보존성이 우수하게 나타나며 수분 함량이 증가할수록 조직잔사지수는 감소한다고 하였다(10). 기존 국내 연구들

Received 8 April 2016; Accepted 27 June 2016

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

은 분리대두단백 압출성형에 대해 단축 스크루 압출성형에 대한 연구는 있으나 쌍축 스크루 압출성형에서 온도와 수분 함량, 스크루 회전속도 변화에 따른 분리대두단백 조직화 연구는 거의 없었다.

따라서 본 연구는 분리대두단백을 수분 함량과 사출구 온도를 달리하여 조직화했을 때와 스크루 회전속도를 달리하여 조직화했을 때의 조직화 및 물리적 특성을 알아보기 위하여 비기계적 에너지 투입량, 팽화특성, 파괴력, 색도, 조직잔사지수, 수용성 질소지수 등의 변화를 살펴보고자 하였다.

재료 및 방법

재료

실험에 사용한 중국산 분리대두단백(Dezhou Ruikang Food Co., Shandong, China)의 수분 함량은 6.70%였다. 분석시약은 Bradford Reagent(Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA)를 구입하여 사용하였다.

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 23:1이었고, 사출구는 원형으로 직경이 3 mm인 것을 사용하였으며, 스크루의 배열은 Fig. 1과 같다. 수분 함량은 펌프로 원료 사입구에 직접 물을 주입하여 조절하였다. 용융물의 온도는 전열기와 냉각수를 사용하여 조절하였다. 압출성형 공정변수는 스크루 회전속도에 따른 물리적 특성을 알아보기 위해 원료 사입량 100 g/min, 사출구 온도 140°C, 수분 함량 30%로 고정시키고 스크루 회전속도를 150, 200, 250, 300, 330 rpm으로 조절하여 스크루 회전속도 250 rpm이 조직화의 최적조건임을 확인하고, 온도와 수분 함량에 따른 물리적 특성을 알아보기 위해 사출구 온도를 120, 130, 140 °C, 수분 함량을 20, 25%로 조절하였다. 제조한 압출성형물은 50°C에서 8시간 건조하여 팽화율, 비길이, 밀도, 파괴력, 조직잔사지수를 측정하였고, 가정용 분쇄기(FM-909T, Hanil, Haman, Korea)로 분쇄한 후 50 mesh의 체망에 거른 분말을 시료로 사용하여 수용성 질소지수, 색도를 측정하였다.

비기계적 에너지

비기계적 에너지 투입량(specific mechanical energy input, SME input)은 Ryu와 Mulvaney(11)의 방법을 이용

하여 압출성형기가 단위 질량당 소비한 전기에너지로 나타내었다. 즉 원료 투입 시의 전력과 모터 공회전 시의 전력차와 압출성형물의 생산량과의 비로부터 실제 원료에 투입된 전력을 식(1)로 구하였다 .

$$SME\ input = \frac{E - E_0}{P_R} \times 100 \quad (1)$$

SME input: Specific mechanical energy input (kJ/kg)

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

E₀: Electric power when idling (J/s)

P_R: Production rate (kg/s)

팽화특성

직경팽화율은 압출성형물의 직경을 캘리퍼스(CD-15C, Mitutoyo Co., Tokyo, Japan)로 10회 측정하여 사출구의 직경과 압출성형물 직경비의 평균값으로 산출하였다(12). 비길이는 압출성형물 무게와 길이를 10회 측정하여 단위 무게당 길이의 비의 평균치로 산출하였다(12).

조각밀도

압출성형물의 체적밀도는 차조를 이용한 종자치환법(13)으로 총 10회 반복하여 식(2)를 이용하여 평균값을 계산하였다.

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

ρ_F: Piece density of extrudate

ρ: Bulk density of waxy millet

M: Mass of waxy millet in 125 mL cup

M₀: Mass of extrudate

M₁: Mass of extrudate and waxy millet in 125 mL cup

파괴력

압출성형물의 파괴력은 Sun Rheo-meter(Compac-100 II, Sun Sci. Co., Tokyo, Japan)를 사용하여 10회 측정 후 평균값을 산출하였다. 측정조건은 probe angle type (65°), 최대응력 2 kg, 지지대 이동속도 30 mm/min, 지지대 간의 거리 5 cm였다. 측정치를 Ryu와 Ng(14)의 방법을 이용하여 파괴력(F_{bs})을 식(3)으로 계산하였다.

$$F_{bs} = \frac{F_m}{S} \quad (3)$$

F_{bs}: Breaking strength (N/m²)

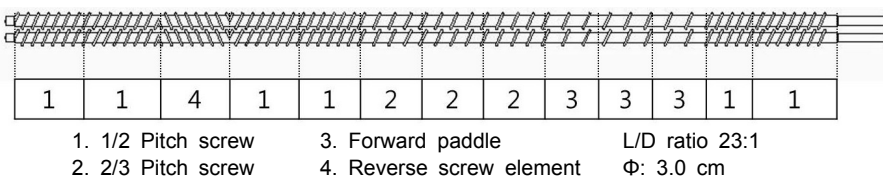


Fig. 1. Screw configuration used in this experiment (Model THK 31T).

F_m : Maximum stress of extrudate (N)

S: Cross-sectional area (m^2)

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 측정된 평균값으로 나타내고 식(4)로 색 변화도(color difference, ΔE) 값을 나타내었다. 표준 색판의 값은 $L=97.22$, $a=0.32$, $b=2.47$ 이었다.

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

조직잔사지수

조직화 압출성형물의 조직형성 정도를 평가하기 위하여 조직잔사지수(integrity index)를 Han 등(10)의 방법을 응용하여 다음과 같이 측정하였다. 압출성형물 5 g을 80°C의 물 100 mL에서 30분간 침지, 복원시킨 후 121°C에서 15분간 가압가열 하여 흐르는 물에 30초간 냉각시켰다. 냉각된 시료에 증류수를 부어 100 mL로 정용하고 homogenizer에서 9,500 rpm으로 1분간 균질화시킨 후 20 mesh 체에 걸러 내었다. 잔사는 흐르는 물로 30초간 씻어내어 105°C에서 2시간 건조 후 건물량에 시료 무게를 나눠주어 다음 식(5)에 따라 산출하였다.

$$\text{Integrity index (\%)} = \frac{\text{Dry residue wt.}}{\text{Sample wt.}} \times 100 \quad (5)$$

수용성 질소지수

수용성 질소지수(nitrogen solubility index, NSI) 측정을 위해 질소정량을 Bradford법(15)으로 수용성 질소량을 측정하여 다음 식(6)에 따라 산출하였다. 시료 5 g(d.b. 기준)에 물 200 mL를 넣고 중탕조에서 30°C, 200 rpm으로 1시간 교반한 후 원심분리기(H-1000-3, Hanil Science Industrial Co., Gangneung, Korea)에서 30°C, 5,000 rpm에서 20분간 원심분리 하여 상등액으로 측정하였다.

$$\text{NSI (\%)} = \frac{\text{Nitrogen solubility}}{\text{Nitrogen of sample}} \times 100 \quad (6)$$

통계처리

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

비기계적 에너지

압출성형공정에서 기계적 에너지 투입량은 중요한 시스템변수로서 모터 토크, 사출구 압력, 원료의 화학적 성분에 밀접하게 관련된다(16).

수분 함량 20%에서 사출구 온도가 120°C에서 140°C로 증가할 때 사출구 온도 120°C에서 637.13 kJ/kg, 140°C에서 500.60 kJ/kg으로 기계적 에너지 투입량은 감소하였다(Table 1). 이는 Ryu와 Ng(14)가 일반적인 압출성형공정으로 밀가루와 옥수수를 압출성형 하였을 때 사출구 온도가 증가하면 내부 반죽의 점도가 감소하여 기계적 에너지 투입량이 감소하였다고 했는데 분리대두단백의 기계적 에너지 투입량 변화 경향과 일치하였다. 사출구 온도 130°C일 때 수분 함량 25%는 511.98 kJ/kg, 20%는 568.86 kJ/kg으로 수분 함량이 감소하였을 때 기계적 에너지 투입량은 증가하였다.

스크루 회전속도가 150 rpm에서 330 rpm으로 증가할 때 150 rpm에서 386.83 kJ/kg, 330 rpm에서 477.84 kJ/kg으로 기계적 에너지는 증가하였다(Table 2).

팽화특성

압출성형물의 팽화 특성인 직경팽화율, 비길이, 조각밀도는 압출성형물의 조직감에 영향을 미치는 중요한 인자이다(17). 사출구 온도가 증가함에 따라 직경팽화율과 비길이는 증가하였다(Table 1). 이는 Yu 등(18)이 옥수수가루와 분리대두단백 혼합물을 압출성형 했을 때 배럴 온도가 증가함에 따라 직경팽화율이 증가했다는 결과와 일치하였다. 수분 함량 20%에서 사출구 온도가 120°C에서 140°C로 증가할 때

Table 1. Specific mechanical energy (SME) input and physical properties of texturized soy protein isolate with different moisture content and die temperature at 250 rpm

Moisture content (%)	Temp. (°C)	SME input ¹⁾ (kJ/kg)	Expansion ratio	Specific length (m/kg)	Piece density (g/cm ³)	Breaking strength (N/m ²)
20	120	637.13	4.68±0.20 ^{b2)}	99.19±7.14 ^b	0.06±0.00 ^d	4.67E+04 ^c
	130	568.86	4.84±0.16 ^{ab}	105.24±5.36 ^b	0.06±0.00 ^d	2.79E+04 ^{cd}
	140	500.60	5.09±0.28 ^a	114.95±12.8 ^a	0.06±0.00 ^d	2.07E+04 ^d
25	120	602.99	3.11±0.13 ^d	72.71±2.72 ^d	0.17±0.00 ^a	1.74E+05 ^a
	130	511.98	4.26±0.42 ^c	78.67±9.09 ^{cd}	0.14±0.00 ^b	1.11E+05 ^b
	140	443.71	5.05±0.30 ^a	85.08±6.42 ^c	0.07±0.00 ^c	4.18E+04 ^{cd}

¹⁾Specific mechanical energy input.

²⁾Values with different letters in column are significantly different ($P < 0.05$) by Duncan's multiple range test.

Table 2. Specific mechanical energy (SME) input and physical properties of texturized soy protein isolate with different screw speed at 140°C and 30% moisture contents

Screw speed (rpm)	SME input ¹⁾ (kJ/kg)	Expansion ratio	Specific length (m/kg)	Piece density (g/cm ³)	Breaking strength (N/m ²)
150	386.83	1.54±0.07 ^{d2)}	78.20±2.96 ^a	0.54±0.02 ^a	1.00E+06 ^a
200	420.96	2.02±0.10 ^c	78.67±2.67 ^a	0.45±0.01 ^b	5.73E+05 ^b
250	432.34	2.72±0.09 ^a	67.97±1.68 ^c	0.20±0.01 ^e	3.29E+05 ^d
300	455.09	2.20±0.05 ^b	71.29±2.77 ^b	0.28±0.00 ^d	3.70E+05 ^{cd}
330	477.84	2.15±0.11 ^b	64.40±2.05 ^d	0.31±0.00 ^c	4.46E+05 ^c

¹⁾Specific mechanical energy input.

²⁾Values with different letters in column are significantly different ($P<0.05$) by Duncan's multiple range test.

사출구 온도 120°C에서 직경팽화율과 비길이는 각각 4.68 ±0.20, 99.19±7.14 m/kg, 140°C에서 5.09±0.28, 114.95 ±12.82 m/kg으로 증가하였다. 수분 함량 25%일 때 밀도는 사출구 온도 120°C에서 0.17±0.00 g/cm³, 140°C에서 0.07 ±0.00 g/cm³로 감소하였다.

수분 함량이 감소함에 따라 직경팽화율과 비길이는 증가하였는데 사출구 온도 130°C일 때 수분 함량이 25%에서 20%로 감소하면서 수분 함량 25%에서 직경팽화율과 비길이는 각각 4.26±0.42, 78.67±9.09 m/kg, 20%에서 4.84±0.16, 105.24±5.36 m/kg으로 증가하였다. Suknark 등(19)은 탈지땅콩분과 전분 혼합물을 압출성형 했을 때 수분 함량이 감소할수록 직경팽화율은 증가하였다고 하였는데 분리대두단백을 압출성형 했을 때에도 이와 일치하였다. 또한, 밀도는 사출구 온도 130°C일 때 수분 함량 25%에서 0.14±0.00 g/cm³, 20%에서 0.06±0.00 g/cm³로 감소하였다.

스크루 회전속도가 150 rpm에서 330 rpm 범위에서 직경팽화율은 250 rpm까지 증가하였지만 300 rpm부터 감소하였다(Table 2). 밀도는 250 rpm까지 감소하다가 300 rpm부터 증가하였다. 이는 스크루 회전속도가 150 rpm에서 250 rpm까지 증가할 때 층밀림의 증가로 시료의 용융이 증가하여 팽창되기 쉬운 조건이 되었으나, 300 rpm 이상의 속도에서는 짧은 체류시간으로 충분히 용융되지 못한 것이기 때문에 판단되었다. Mezreb 등(20)은 옥수수과 밀가루를 각각 압출성형 시 200 rpm에서 500 rpm으로 스크루 회전속도를 증가시킬 때 옥수수는 스크루 회전속도가 증가함에 따라 직경팽화율이 감소하였지만, 밀가루는 직경팽화율이 200 rpm에서 300 rpm까지 증가하였으나 500 rpm에서 직경팽화율이 감소하여 200 rpm보다 조금 높은 값을 보였다. 분리대두단백과 밀가루의 직경팽화율 변화는 비슷한 경향을 보이며 이는 옥수수와 비교해 볼 때 단백질 함량 차이에 의한 것으로 생각한다.

파괴력

파괴력은 팽화율, 밀도, 기공에 영향을 받으며 압출성형물의 품질을 결정하는 중요한 인자다(21). 사출구 온도가 증가할수록 파괴력은 감소하였는데 수분 함량 20%에서 사출구 온도가 120°C에서 140°C로 증가할 때 사출구 온도 120°C에서 4.67E+04 N/m², 140°C에서 2.07E+04 N/m²

로 파괴력은 감소하였다(Table 1). 온도가 증가함에 따라 기공이 많아지면서 파괴력이 감소한 것으로 생각하며, 이는 Chen 등(22)이 분리대두단백을 압출성형 했을 때 140~150°C 구간에서 온도가 증가할수록 파괴력이 감소했다는 결과와 일치한다.

수분 함량이 감소하면서 파괴력은 감소하였는데 사출구 온도 130°C일 때 수분 함량 25%는 1.11E+05 N/m², 20%는 2.79E+04 N/m²로 파괴력은 감소하였다. 수분 함량이 감소하면서 기공수가 증가하여 파괴력이 감소한 것을 확인할 수 있었다. 스크루 회전속도가 증가하면서 파괴력은 250 rpm까지는 감소하였지만, 300 rpm부터는 증가하였다(Table 2). 이는 팽화도가 낮아지면서 입자층이 단단하게 유지되어 파괴력이 더 높게 측정된 것으로 생각된다.

색도

사출구 온도가 120°C에서 130°C로 증가할 때 명도(L)는 갈변으로 인해 감소하였으나 140°C에서 증가하였는데 이는 팽창으로 인하여 밀도가 감소하여 명도가 증가한 것으로 판단된다(Table 3). 사출구 온도가 증가할수록 적색도(a)와 황색도(b)는 증가하는 경향을 보였으나 140°C에서 팽창으로 인해 밀도가 감소하여 증가 정도가 감소하거나 값이 감소하였다. 수분 함량이 낮을수록 갈변으로 인해 명도(L)가 감소하고 적색도(a)와 황색도(b)는 증가하는 경향을 보였다.

스크루 회전속도가 150 rpm에서 명도(L)가 74.29±0.47로 가장 높은 값을 보였는데 이는 층밀림이 약하여 갈변화가 적게 일어난 것으로 판단된다(Table 4).

총 색도차는 수분 함량 30%, 스크루 회전속도 150 rpm, 사출구 온도 140°C에서 11.78±0.62로 가장 낮은 값을 나타내어 원료와 유사한 색을 보였다(Table 4). 온도가 증가할수록, 수분 함량이 감소할수록 총 색도차는 증가하는 경향을 보였다. 이는 온도의 증가와 수분 감소로 인한 갈변으로 색도차가 증가한 것으로 판단된다. 스크루 회전속도가 증가할수록 총 색도차는 증가하였는데 이는 강한 층밀림으로 인해 갈변화가 증가한 것으로 생각한다.

조직잔사지수

사출구 온도와 수분 함량에 따라 조직잔사지수를 나타내었다(Fig. 2). 수분 함량 25%에서 사출구 온도가 120°C일

Table 3. Color of texturized soy protein isolate with different moisture content and die temperature at 250 rpm

Moisture content (%)	Temp. (°C)	Lightness (L)	Redness (a)	Yellowness (b)	Color difference
Control ¹⁾		84.88±0.11	-0.69±0.05	17.04±0.21	0
20	120	68.28±0.53 ^{c2)}	3.36±0.13 ^d	19.77±0.33 ^c	17.30±0.59 ^b
	130	66.91±0.11 ^d	4.61±0.02 ^a	21.90±0.04 ^a	19.36±0.10 ^a
	140	67.01±0.23 ^d	3.93±0.05 ^b	20.72±0.11 ^b	18.82±0.25 ^a
25	120	69.95±0.74 ^a	2.81±0.09 ^c	18.74±0.22 ^d	15.43±0.72 ^c
	130	68.99±0.33 ^{bc}	3.34±0.10 ^d	19.59±0.16 ^c	16.59±0.32 ^b
	140	69.05±0.11 ^b	3.57±0.06 ^c	19.61±0.27 ^c	16.59±0.10 ^b

¹⁾Before extrusion raw material.

²⁾Values with different letters in column are significantly different ($P<0.05$) by Duncan's multiple range test.

Table 4. Color of texturized soy protein isolate with different screw speed at 140°C and 30% moisture contents

Screw speed (rpm)	Lightness (L)	Redness (a)	Yellowness (b)	Color difference
150	74.29±0.47 ^{a1)}	3.09±0.15 ^{ab}	20.56±0.53 ^a	11.78±0.62 ^b
200	73.71±0.58 ^a	3.17±0.18 ^{ab}	20.71±0.71 ^a	12.37±0.78 ^b
250	72.22±0.58 ^b	2.94±0.17 ^b	20.35±0.27 ^a	13.58±0.64 ^a
300	71.36±0.34 ^b	2.92±0.06 ^b	19.18±0.40 ^b	14.15±0.38 ^a
330	71.40±0.61 ^b	3.22±0.13 ^a	20.17±0.46 ^a	14.38±0.70 ^a

¹⁾Values with different letters in column are significantly different ($P<0.05$) by Duncan's multiple range test.

때 조직화는 이루어지지 않았지만, 사출구 온도가 130°C에서 140°C로 증가할 때 130°C에서 $6.34\pm 1.64\%$, 140°C는 $15.90\pm 3.81\%$ 로 조직잔사지수가 크게 상승하였다. 수분 함량 20%의 경우 120°C에서 130°C까지는 조직잔사지수가 증가했지만, 130°C에서 140°C로 증가할 때 값의 차이가 거의 없었다.

사출구 온도 140°C에서 수분 함량이 25%일 때 조직잔사지수는 $15.90\pm 3.81\%$, 수분 함량 20%에서 $26.21\pm 4.28\%$ 로 수분 함량이 감소할수록 조직잔사지수는 증가하였다. 수분 함량이 낮고 온도가 높을수록 조직화가 잘 이루어지며 수분 함량과 사출구 온도에 따라 조직화 차이를 비교할 때 사출구 온도보다 수분 함량에 따라 조직화가 크게 영향을 받는 것을 알 수 있었다(10).

스크루 회전속도에 따라 조직잔사지수는 30% 수분 함량에서 250 rpm일 때 $11.83\pm 2.23\%$ 로 가장 높은 값을 나타내

었다(Fig. 3). 150 rpm은 조직화되지 않았으며 200 rpm은 조직화 값이 낮았는데 저속에서 층밀림이 약하여 용융이 잘 되지 않아 조직화가 적은 것으로 판단된다(10). 300 rpm 이상에서는 배럴 내 체류시간이 짧아 대두단백이 용융되지 못하여 조직화가 적어진 것으로 생각되며 250 rpm의 회전속도가 용융시간과 층밀림이 충분한 것을 확인할 수 있었다.

수용성 질소지수

수용성 질소지수(NSI)는 단백질이 조직화되면서 변성 정도를 나타내 주는 지표다. 실험에서 사용한 원료 분리대두단백의 NSI 값은 66.58% 값을 보였다. 원료의 NSI 값이 높을수록 조직화가 용이한 것으로 알려져 있다(10).

사출구 온도가 증가할수록 NSI 값은 증가하였는데 이는 Han(23)이 사출구 온도가 130°C에서 150°C로 증가할 때 NSI 값이 증가한다는 결과와 일치하였다(Fig. 4). NSI는 수

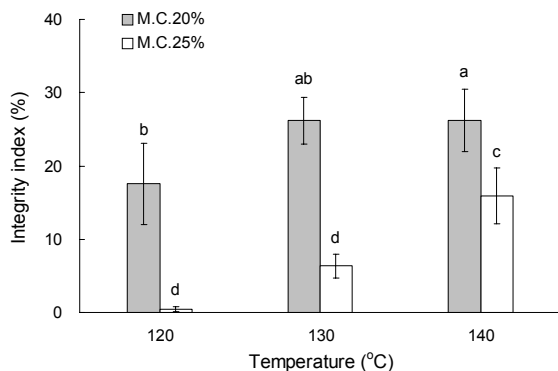


Fig. 2. Changes in integrity index of texturized soy protein isolate by different moisture content and die temperature at 250 rpm. Bar values followed by the same superscript (a-d) are not significantly different ($P<0.05$).

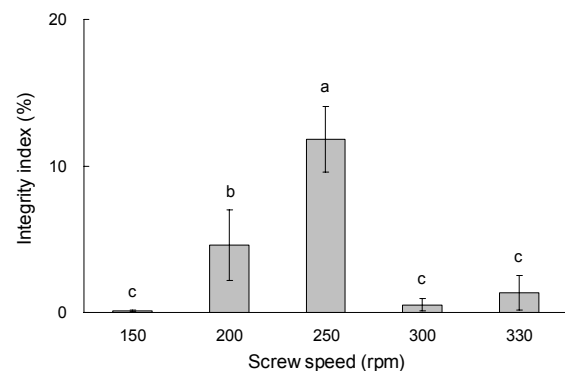


Fig. 3. Changes in integrity index of texturized soy protein isolate by different screw speed at 140°C and 30% moisture content. Bar values followed by the same superscript (a-c) are not significantly different ($P<0.05$).

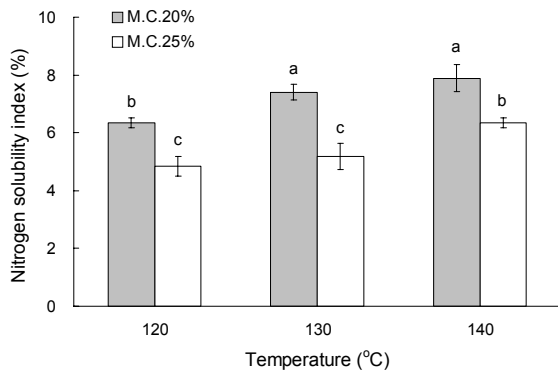


Fig. 4. Changes in nitrogen solubility index of texturized soy protein isolate at the different moisture content and die temperature at 250 rpm. Bar values followed by the same superscript (a-c) are not significantly different ($P<0.05$).

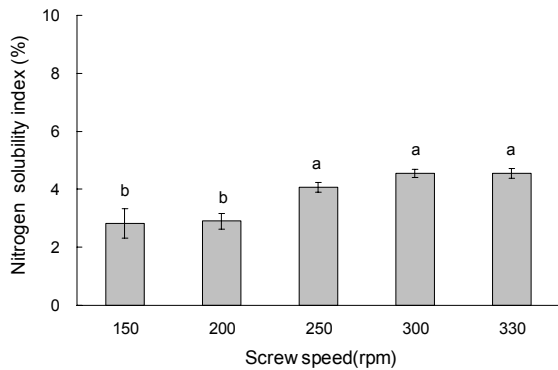


Fig. 5. Changes in nitrogen solubility index of texturized soy protein isolate at different screw speed at 140°C and 30% moisture content. Bar values followed by the same superscript (a,b) are not significantly different ($P<0.05$).

분 함량 20%, 140°C에서 $7.88 \pm 0.47\%$ 로 가장 높은 값을 보였다. 이는 사출구 온도가 증가함에 따라 용융물의 점도가 낮아지고 사출속도가 빨라져서 단백질 변성이 덜 일어나는 것으로 판단된다(23). 분리대두단백의 수분 함량이 증가할수록 NSI 값은 감소하였고 이는 습윤 가열로 인하여 대두 단백질의 불용성화가 촉진되었다는 Han 등(10)의 연구 결과와 일치하였다.

스크루 회전속도가 감소함에 따라 NSI는 감소하였는데 스크루 회전속도 150 rpm에서 $2.83 \pm 0.51\%$ 로 가장 낮은 값을 보였다(Fig. 5). 이는 낮은 스크루 회전속도에서 배럴 내 체류시간이 길어짐에 따라 수용성 단백질의 변성이 일어난 것으로 생각한다(24).

요 약

수분 함량과 사출구 온도, 스크루 회전속도가 분리대두단백의 조직화 및 물리적 특성에 미치는 영향을 분석하였다. 압출성형 조건은 스크루 회전속도를 250 rpm으로 고정하고 수분 함량과 사출구 온도를 20, 25%와 120, 130, 140°C로

조절하였다. 또 다른 압출성형은 수분 함량과 사출구 온도를 30%와 140°C로 고정하고 스크루 회전속도를 150, 200, 250, 300, 330 rpm으로 조절하였다. 사출구 온도가 120°C에서 140°C로 증가함에 따라 비기계적 에너지 투입량은 감소하였으며, 스크루 회전속도가 150 rpm에서 330 rpm으로 증가할수록 비기계적 에너지 투입량은 증가하였다. 사출구 온도가 증가하고 수분 함량이 감소할수록 직경팽화율과 비길이는 증가하였으며, 밀도는 수분 함량 20%에서 유의적인 차이를 보이지 않았다. 사출구 온도가 증가하고 수분 함량이 감소할수록 기공형성이 증가하여 파괴력이 감소하였으며 사출구 온도 140°C, 수분 함량 20%에서 $2.07E+04 \text{ N/m}^2$ 로 가장 낮은 값을 보였다. 수분 함량이 25%에서 20%로 감소하면서 갈변으로 인해 명도가 감소하고 적색도와 황색도는 증가하는 경향을 보였으며 총 색도차는 증가하였다. 스크루 회전속도가 150 rpm에서 330 rpm으로 증가할수록 총 색도차가 증가하였다. 조직잔사지수는 사출구 온도가 증가하고 수분 함량이 낮을수록 증가하였으며, 사출구 온도 140°C, 수분 함량 20%에서 $26.21 \pm 4.28\%$ 로 가장 높은 값을 보였다. 조직잔사지수는 사출구 온도보다 수분 함량의 영향이 컸다. 사출구 온도가 120°C에서 140°C로 증가하고 수분 함량이 25%에서 20%로 감소할수록 수용성 질소지수는 증가하였으며 수분 함량 20%, 사출구 온도 140°C에서 $7.88 \pm 0.47\%$ 로 가장 높은 값을 보였다. 스크루 회전속도가 330 rpm에서 150 rpm으로 감소함에 따라 수용성 질소지수는 감소하였으며 150 rpm에서 $2.83 \pm 0.51\%$ 로 가장 낮은 값을 보였다. 본 연구를 통하여 수분 함량이 사출구 온도보다 조직화에 더 큰 영향을 주는 것을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 한국연구재단의 2015년도 지역혁신창의인력양성사업(2015H1C1A1035974)에 의하여 수행된 연구 결과의 일부로 연구비 지원에 감사드립니다.

REFERENCES

1. Cha YH. 2011. Effect of ohmic heating on characteristics of heating denaturation of soybean protein. *Korean J Food Nutr* 24: 740-745.
2. 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.
3. Park JH, Park MN, Lee IS, Kim YK, Kim WS, Lee YS. 2010. Effects of soy protein, its hydrolysate and peptide fraction on lipid metabolism and appetite-related hormones in rats. *Korean J Nutr* 43: 342-350.
4. Lee HY, Shin YM, Hwang CE, Lee BW, Kim HT, Ko JM, Baek IY, An MJ, Choi JS, Seo WT, Cho KM. 2014. Production of soybean meat using Korean whole soybean and its quality characteristics and antioxidant activity. *J Agric & Life Sci* 48: 139-156.
5. Liu K, Hsieh FH. 2008. Protein-protein interactions during

- high-moisture extrusion for fibrous meat analogues and comparison of protein solubility methods using different solvent systems. *J Agric Food Chem* 45: 2681-2687.
6. Saio K. 1987. Expansion and texturization mechanisms of soybean proteins, relating to the microstructures. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi* 34: 407-416.
 7. Lee GH, Kim SK, Kan SM, Lee SK. 2008. Texturization characteristics of soy protein using twin-screw extruder. *The 2008 Winter Academic Conference Materials of Korean Society for Agricultural Machinery* 13: 212-215.
 8. Ryu GH. 2003. Texturization of plant protein by using extrusion process. *Food Eng Prog* 7: 73-79.
 9. Frazier PJ, Crawshaw A, Daniels NWR, Russell Eggit PW. 1983. Optimisation of process variables in extrusion texturing of soya. *J Food Eng* 2: 79-103.
 10. 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.
 11. Ryu GH, Mulvaney SJ. 1997. Analysis of physical properties and mechanical energy input of commmeal extrudates for fortified with dairy products by carbon dioxide injection. *Korean J Food Sci Technol* 29: 947-954.
 12. Alvarez-Marinez L, Kondury KP, Harper JM. 1988. A general model for expansion of extruded products. *J Food Sci* 53: 609-615.
 13. Jin T, Gu BJ, Ryu GH. 2010. Manufacturing of hemp seed flake by using extrusion process. *Food Eng Prog* 14: 99-105.
 14. 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.
 15. Bradford MM. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal Biochem* 72: 248-254.
 16. Rodríguez-Miranda J, Delgado-Licon E, Ramírez-Wong B, Solís-Soto A, Vivar-Vera MA, Gómez-Aldapa CA, Medrano-Roldán H. 2012. Effect of moisture, extrusion temperature and screw speed on residence time, specific mechanical energy and psychochemical properties of bean flour and soy protein aquaculture feeds. *J Anim Prod Adv* 2: 65-73.
 17. 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.
 18. Yu L, Ramaswamy HS, Boye J. 2012. Twin-screw extrusion of corn flour and soy protein isolate (SPI) blends: a response surface analysis. *Food Bioprocess Technol* 5: 485-497.
 19. Suknark K, Phillips RD, Chinnan MS. 1998. Physical properties of directly expanded extrudates formulated from partially defatted peanut flour and different types of starch. *Food Res Int* 30: 575-583.
 20. Mezreb K, Goullieux A, Ralainirina R, Queneudec M. 2003. Application of image analysis to measure screw speed influence on physical properties of corn and wheat extrudates. *J Food Eng* 57: 145-152.
 21. Gil SK, Ryu GH. 2013. Effects of die temperature and gas injection on physical properties of extruded brown rice-vegetable mix. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 42: 1848-1856.
 22. Chen FL, Wei YM, Zhang B, Ojokoh AO. 2010. System parameters and product properties response of soybean protein extruded at wide moisture range. *J Food Eng* 96: 208-213.
 23. Han O. 1992. Artificial meat texturization utilizing mixtures of soybean protein and rice. *Korea Soybean Digest* 9: 15-39.
 24. Saio K, Terashima M, Watanabe T. 1975. Food use of soybean 7S and 11S protein changes in basic groups of soybean protein by high temperature heating. *J Food Sci* 40: 541-544.