

예비호화 현미분 함량과 CO₂ 가스 주입량에 따른 저온 현미-야채류 압출성형물의 물리적 특성 변화

길선국 · 최지혜 · 류기형
공주대학교 식품공학과

Change in Physical Properties of Cold-Extruded Brown Rice and Vegetable Mix at Various Pregelatinized Brown Rice Content and CO₂ Gas Injection

Sun-Kook Gil, Ji-Hye Choi, and Gi-Hyung Ryu

Department of Food Science and Technology, Kongju National University

ABSTRACT This study was designed to examine the change in physical properties of extruded brown rice-vegetable mix at different pregelatinized brown rice contents and CO₂ gas injection. Moisture content, screw speed and die temperature were fixed to 30%, 100 rpm and 60, respectively. CO₂ gas injection was adjusted to 0, 300, 600, and 800 mL/min. The content of vegetables (carrot, pumpkin, kale and *Angelica keiskei*) mix was fixed 5%. Pregelatinized and raw brown rice powder were blended as the ratio of 0/95, 30/65 and 50/45. Specific mechanical energy input decreased as pregelatinized brown rice ratio increased. Expansion index increased and the size and number of pores increased but density decreased with the increasing in CO₂ gas injection. Gelatinization degree increased as CO₂ gas injection increased. In conclusion, cold extrusion with CO₂ gas injection at 60°C die temperature could be applied for Saengsik (uncooked food) making.

Key words: CO₂ gas injection, SME input, expansion index, gelatinization degree, pregelatinized brown rice

서 론

생식이란 식물성 원료를 주원료로 건조 등 가공 처리를 하여 분말, 과립, 바, 페이스트, 젤상, 액상 등으로 동결건조, 60°C 이하의 송풍건조 등을 사용하여 영양소의 파괴, 효소의 불활성화 및 전분의 호화 등을 최소화한 완전식품으로 섭취할 수 있는 형태의 식품이다(1-3).

생식 원료는 단백질, 지방, 탄수화물, 비타민, 무기질 등의 영양성분 이외에 셀룰로오스, 펙틴, 헤미셀룰로오스 등 인체 내의 효소로 소화되지 않는 식이섬유들을 다량 포함하고 있다(4). 신선초는 미나리과에 속하는 다년생 초본으로 chalcone, triterpenoid 등의 성분이 피부암 억제효과와 폐암, 대장암 예방효과가 있으며 neuraminidase 활성을 억제하여 신종 인플루엔자 발병을 예방할 수 있다고 보고되어 있다(5). 케일은 특히 비타민, 미네랄, 식이섬유와 항산화 화합물 뿐만 아니라 질소화합물도 풍부하다(6). 생식 원료의 많은 함량을 구성하고 있는 현미는 식물성 섬유질과 각종 효소, 비타민, 미네랄 등 인체에 유익한 영양소가 다량 함유되어

있으며 노화 방지 및 장내 기능 강화에도 유용한 식품으로 알려져 있다(7).

압출성형은 독립변수인 원료투입량, 수분첨가량, 배럴의 온도, 스크루 회전속도, 사출구의 구조를 변화시켜 단시간에 혼합, 분쇄, 가열, 성형, 건조가 일어나는 단일공정으로서 다른 가열 가공공정과 비교하여 효율적이며 경제적인 공정이다(8,9). CO₂ 가스 주입 저온 압출성형은 100°C 이상에서 수분의 상변화를 이용하여 팽화를 하는 재래식 압출성형공정과 비교하여 낮은 온도에서 팽화가 가능하여 재래식 압출성형공정의 팽화와 달리 압력차에 의한 탄산가스의 비체적 변화로 100°C 이하에서도 팽화가 가능하고 열에 불안정한 영양소의 파괴를 감소시키며 스크루 마모율 감소와 에너지 투입량이 낮다(10,11). 또한 CO₂ 가스 주입량과 주입압력은 제품의 팽화율과 밀도, 기공의 구조 등을 조절할 수 있다(12).

Ryu와 Mulvaney(12)와 Ryu 등(13)은 CO₂ 가스를 주입한 옥수수 가루 압출성형물을 팽화시킬 때 설탕이 CO₂ 가스 주입량과 제품의 밀도에 미치는 영향을 연구한 결과, 설탕의 첨가에 의해 밀도가 증가하였다고 보고하였다. Gil과 Ryu(14)는 60°C 이하의 저온으로 야채류(녹차, 토마토, 호박)를 각각 섞은 압출성형물을 제조하여 압출성형을 통한 생식 제조의 가능성을 연구하였다.

본 연구는 60°C 이하의 온도에서만 제조가 인정되는 생식팽화스낵을 개발하고자 예비호화 현미분 함량과 CO₂ 가

Received 13 June 2014; Accepted 28 October 2014

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

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

스 주입량에 따른 저온 현미-야채류 압출성형물로 제조하여 물리적 특성 변화를 알아보고자 팽화 특성, 기계적 특성, 수분용해지수와 수분흡착지수, 미세구조 등을 살펴보았다. 또한 호화된 현미분을 넣어 저온에서도 제품의 팽화율을 높이고 호화된 성분이 50% 미만이 되어야 하는 생식의 기준에 맞추고자 예비호화 현미분의 함량에 변화를 주었다.

재료 및 방법

재료

압출성형물 제조를 위한 원료인 알파현미분, 동결건조 현미분, 채소분(당근, 호박, 케일, 신선초)은 (주)이룸(Chuncheon, Korea)에서 제공받아 사용하였다. 채소분은 당근, 호박, 케일, 신선초를 섞어 5%로 고정하였고, 알파현미분과 동결건조 현미분말은 0/95, 30/65, 50/45%로 배합하여 사용하였다. 배합된 원료의 일반성분은 알파현미분 0% 혼합 시 수분 함량 13.22%, 조회분 1.22%, 조지방 1.60%, 조단백 6.10%였고, 알파현미분 30% 혼합 시 수분 함량 13.22%, 조회분 1.23%, 조지방 1.45%, 조단백 6.04%였으며, 알파현미분 50% 혼합 시에는 수분 함량 13.23%, 조회분 1.25%, 조지방 1.30%, 조단백 6.03%로 측정되었다.

압출성형

압출성형물 제조는 실험용 쌍축 압출성형기(THK 31T, Incheon Machinery, Incheon, Korea)를 사용하였다. 스크루 직경은 3.0 cm이며 길이와 직경비(L/D ratio)는 23:1이었고 사출구는 원형으로 직경이 3 mm인 것을 사용하였으며, 스크루 배열은 Fig. 1과 같다. 압출성형 원료의 수분 함량은 펌프를 사용해 원료 사입구에 직접 주입하여 30%로 고정하였다. 스크루 회전속도 100 rpm, 원료 사입량 100 g/min, 사출구 온도 60°C로 고정하였으며 CO₂ 가스 주입은 0, 300, 600, 800 mL/min으로 각각 조절하였다. 제조된 압출성형물은 50°C에서 8시간 건조하여 팽화율, 비길이, 겔보기탄성계수와 파괴력, 밀도를 측정하였고, Micro Hammer-cutter Mill(Type 3, Culatti AG Co., Zurich, Switzerland)을 사용하여 0.5 mm 이하로 분쇄한 시료를 사용하였다.

비기계적에너지 투입량

비기계적에너지 투입량(SME input)은 Ryu와 Mulvaney (10)의 방법을 이용하여 압출성형기의 운전이 정상상태일

때 원료의 단위 질량당 소비된 전기에너지로 나타내었다. 즉 원료투입 시의 전력과 모터 공회전 시의 전력의 차와 생산량과의 비로부터 실제 원료에 투입된 전력을 구하였다(식 1).

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

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

E: electric power when input to material (kJ/s)

E₀: electric power when idling (kJ/s)

P_R: production rate (kg/s)

팽화율

직경팽화율은 압출성형물의 직경을 캘리퍼스(CD-15C, Mitutoyo Co., Kanagawa, Japan)로 10회 측정하여 사출구의 직경과 압출성형물 직경비의 평균값으로 산출하였다. 비 길이는 압출성형물 무게와 길이를 10회 측정하여 단위 무게당 길이의 비를 평균치로 산출하였다(15).

체적밀도

압출성형 후레이크의 체적밀도는 차조를 이용한 종자 치환법으로 총 10회 반복하여 식(2)를 이용하여 평균값을 계산하였다(16).

$$\rho_e = \frac{M}{M + M_0 - M_1} \times \rho_m \quad (2)$$

ρ_e : bulk density of extrudate

ρ_m : bulk density of waxy millet

M: mass of waxy millet in 125 mL cup

M₀: mass of extrudate

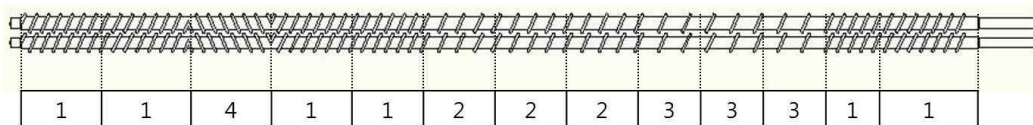
M₁: mass of extrudate and waxy millet in 125 mL cup

겔보기탄성계수와 파괴력

압출성형물의 겔보기탄성계수와 파괴력은 Sun Rheometer(Compac-100 II, Sun Sci. Co., Tokyo, Japan)를 사용하여 10회 측정하여 평균값을 산출하였다. 측정 조건은 probe angle type(65°), 최대응력 10 kg, 지지대 이동속도 60 mm/min, 지지대 간의 거리 3 cm였다. 측정치를 Ryu와 Ng(17)의 방법을 이용하여 겔보기탄성계수(E_{app})와 파괴력(F_{bs})을 각각 식(3)과 식(4)로 계산하였다.

$$E_{app} = \left(\frac{dF}{dl} \right) \left(\frac{64d^3}{48\pi D^4} \right) \quad (3)$$

E_{app}: apparent elastic modulus (N/m²)



1. 1/2 Pitch screw
 2. 2/3 Pitch screw
 3. Full pitch screw
 4. 1/2 Pitch reverse screw
- L/D ratio 23:1
Ø : 3.0 cm

Fig. 1. Screw configuration used in brown rice-vegetable extrudate (Model THK 31T).

dF/dl : slope of the linear section of the force-distance curve (N/m)

D : diameter of extrudate (m)

d : distance between two supports (m)

$$F_{bs} = \frac{F_s}{S} \quad (4)$$

F_{bs} : breaking strength (N/m²)

F_s : maximum stress of extrudate (N)

S : cross-sectional area (m²)

수분용해지수와 수분흡착지수

시료의 수용성 성질을 분석하기 위하여 AACC 방법(18)을 응용하여 건량 기준의 시료 1.5 g에 증류수 30 mL를 가하여 30°C의 항온수조(BF-45SB, Biofree Co., Seoul, Korea)에서 30분간 교반 후 원심분리기(H-1000-3, Hanil Science Industrial Co., Gangneung, Korea)에서 3,000 rpm으로 20분간 원심분리 하였다. 상등액은 알루미늄 접시에 부은 후 침전물의 무게를 측정하고 알루미늄 접시를 105°C의 열풍건조기(HB-502MP, Han Beak Co., Bucheon,

Korea)에서 2시간 동안 건조하여 상등액의 고형분 함량을 측정하여 수분용해지수(water soluble index, WSI)와 수분흡착지수(water absorption index, WAI)를 각각 식(5)와 식(6)으로 결정하였다.

$$WSI (\%) = \frac{\text{Dry solid wt. recovered by evaporating the supernatant}}{\text{Dry sample wt.}} \times 100 \quad (5)$$

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

페이스트 점도

페이스트 점도는 Ryu 등(19)의 방법을 응용한 Rapid Visco Analyzer(RVA-3D, Newport Scientific Inc., Sydney, Australia)를 사용하여 측정하였으며, 신속점도 측정기의 소프트웨어 프로그램 중 extrusion method를 사용하여 압출성형물의 점도를 측정하였다.

미세구조 측정

압출성형물의 단면을 백금으로 코팅 후 고분해능 주사전자현미경(MIRA LMH, Tescan, Brno, Czech)으로 가속전

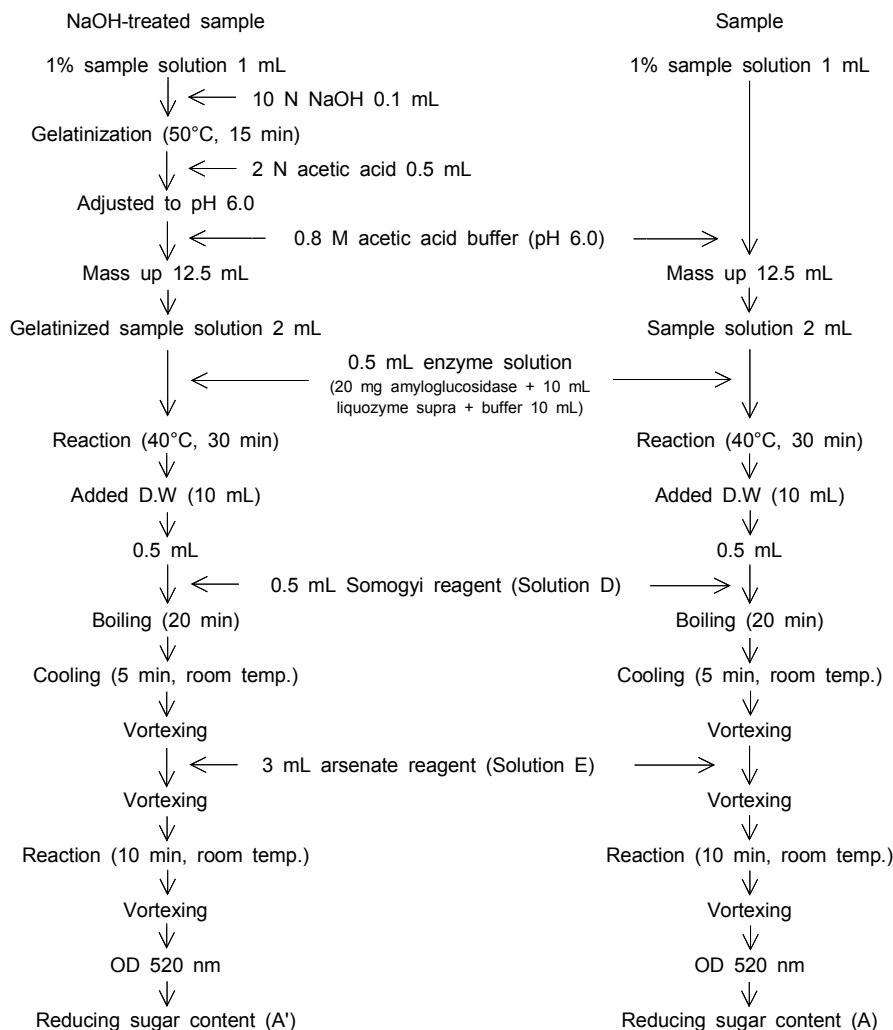


Fig. 2. The method for determination of gelatinization degree.

력 5 kV에서 미세구조를 관찰하였다.

호화도 측정

호화도 측정은 Nelson(20)의 방법을 응용하여 효소반응 동안 방출된 환원당을 측정하여 분석하였다. NaOH를 사용하여 시료를 100% 호화시킨 용액과 호화시키지 않은 시료 용액을 각각 Fig. 2와 같이 시료에 효소를 반응시켜 환원당을 측정 후 증류수로 실험한 blank와 함께 식(7)의 계산식으로 호화도를 계산하였다.

$$G (\%) = \frac{A-a}{A'-a} \times 100 \quad (7)$$

G: degree of gelatinization

A: reducing sugars amount of sample hydrolyzed by enzyme

A': reducing sugars amount of NaOH-treated sample hydrolyzed by enzyme (100% gelatinization)

a: blank

통계분석

통계분석은 SPSS 18.0(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 사용하여 수행하였다. 모든 값은 평균±표준편차로 기록하였다. 평균값은 Fisher's least significant difference (LSD) test에 따라 계산하였다.

결과 및 고찰

비기계적에너지

압출성형공정에서 비기계적에너지 투입량은 중요한 시스템 변수로서 전분의 호화, 전분사슬의 절단, 체류시간에 영향을 미친다(21,22). 현미분 함량과 CO₂ 가스 주입량에 따른 현미-야채류 압출성형물의 비기계적에너지 투입량은

Table 1과 같다. 비기계적에너지 투입량은 예비호화 현미분 함량이 0%일 때 CO₂ 가스 주입량 300 mL/min에서 279.05 kJ/kg으로 가장 높은 값을 나타내었으며, 예비호화 현미분 함량이 30%일 때 CO₂ 가스 주입량 0 mL/min에서 164.55 kJ/kg으로 가장 낮은 값을 나타내었다. 예비호화 현미분 함량이 증가할수록 비기계적에너지 투입량은 모두 감소하였으며 CO₂ 가스 주입에 따른 영향은 보이지 않았다. 이는 Ryu와 Ng(17)의 100°C 이상의 재래식 압출성형공정에서 밀가루와 옥수수를 압출성형 하였을 때 사출구 온도가 증가하면 반죽의 호화로 점도가 감소하여 비기계적에너지 투입량이 감소한 결과와 유사하다. 본 실험 결과 예비호화 현미분 함량의 증가에 따른 비기계적에너지 투입량이 감소되는 것은 100°C 이상의 재래식 압출성형공정에서 전분의 호화가 증가되어 반죽 점도의 감소로 내부 용융물 또한 점도가 감소하여 60°C에서도 비기계적에너지 투입량이 감소된다고 판단된다.

팽화 특성

압출성형물의 팽화율은 일반적으로 직경팽화지수와 길이 팽화지수(비길이) 두 가지의 기준에 의해 측정된다(15). 예비호화 현미분 함량과 CO₂ 가스 주입량에 따른 현미-야채류 압출성형물의 팽화 특성은 Fig. 3과 같다. 직경팽화율은 예비호화 현미분 50%, CO₂ 가스 주입량 300 mL/min일 때 1.44로 가장 높았으며, 예비호화 현미분 50%, CO₂ 가스 주입량 800 mL/min일 때 0.92로 가장 낮은 값을 나타내었다. 예비호화 현미분 50%에서 CO₂ 가스 주입량이 0에서 300 mL/min으로 증가하였을 때 직경팽화율은 증가되었으며, CO₂ 가스 주입량 600과 800 mL/min으로 증가될 때 직경팽화율은 감소되었다. 예비호화 현미분 30%에서는 CO₂ 가스 주입량이 600 mL/min까지 직경팽화율이 증가되었으나 CO₂ 가스 주입량 800 mL/min으로 증가할 때 감소되었다.

Table 1. Effects of different α -brown rice ratio and CO₂ gas injection on specific mechanical energy (SME) input and mechanical properties of extruded brown rice-vegetable mix

Feed material ¹⁾ (%)	CO ₂ gas injection (mL/min)	SME input (kJ/kg)	Apparent elastic modulus (N/m ²)	Breaking strength (N/m ²)
0/95/5	0	272.26±0.06 ^{a2)}	1.43 × 10 ^{10a}	3.36 × 10 ^{5cd}
	300	279.05±2.00 ^a	6.63 × 10 ^{9bc}	3.15 × 10 ^{5cde}
	600	260.93±0.03 ^b	5.55 × 10 ^{9c}	3.72 × 10 ^{5c}
	800	267.58±4.51 ^b	5.97 × 10 ^{9c}	3.44 × 10 ^{5cd}
30/65/5	0	179.58±0.42 ^d	7.51 × 10 ^{9b}	1.97 × 10 ^{5e}
	300	168.91±0.96 ^{de}	6.73 × 10 ^{9bc}	1.03 × 10 ^{6a}
	600	215.92±0.37 ^c	5.98 × 10 ^{9c}	8.48 × 10 ^{5b}
	800	171.25±2.16 ^{de}	5.64 × 10 ^{9c}	2.23 × 10 ^{5de}
50/45/5	0	178.61±0.92 ^d	7.57 × 10 ^{8d}	2.75 × 10 ^{4f}
	300	168.31±0.23 ^{de}	5.20 × 10 ^{8d}	1.04 × 10 ^{5f}
	600	174.98±0.53 ^{de}	6.43 × 10 ^{8d}	2.88 × 10 ^{4f}
	800	169.49±1.96 ^{de}	1.21 × 10 ^{9d}	3.63 × 10 ^{4f}

¹⁾ α -Brown rice/ brown rice/ vegetable mix ratio.

²⁾ Values with in the same column with different letters are significantly different at $P < 0.05$. Each value is the mean±SD of three replicates.

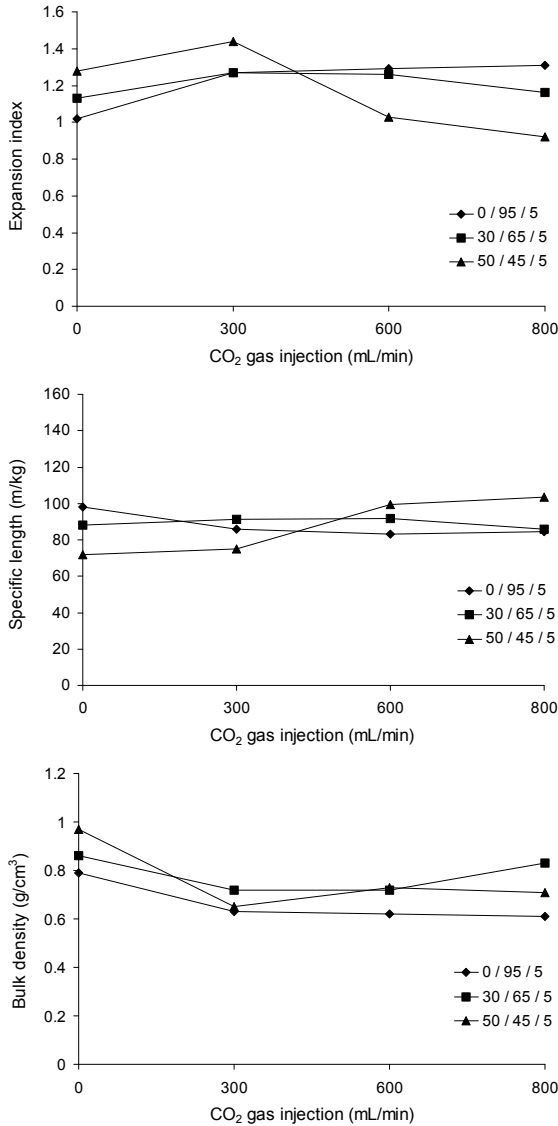


Fig. 3. Effects of different α -brown rice ratio (0, 30, 50%) and CO₂ gas injection on expansion properties of extruded brown rice-vegetable mix.

반면에 예비호화 현미분 0%일 때는 CO₂ 가스 주입량이 0에서 800 mL/min으로 증가할수록 직경팽화율이 증가되었다. 이는 예비호화 현미분의 증가로 인해 내부 용융물의 점도가 낮아져 CO₂ 가스 주입량이 증가될수록 압출성형물의 내부 기공의 붕괴와 수축률이 증가하여 직경팽화율이 감소한 것으로 판단된다(17).

비길이는 예비호화 현미분 50%, CO₂ 가스 주입량 800 mL/min일 때 103.63 m/kg으로 가장 높은 값을 나타내었으며, 예비호화 현미분 50%, CO₂ 가스 주입량 0 mL/min일 때 72.04 m/kg으로 가장 낮은 값을 나타내었다. Ryu 등(10)의 옥수수가루와 유제품 분말을 원료로 CO₂ 가스 주입 압출성형 하였을 때 주입압력이 증가함에 따라 팽화율과 비길이는 증가하는 경향을 보였으며, 이는 CO₂ 가스 주입량이 증가함에 따라 원료 용융물의 점도가 감소하여 용융물이 사출구

로 사출되는 순간 유속이 증가하여 CO₂ 가스를 주입하지 않을 때보다 비길이가 증가한다는 보고와 일치하였다.

본 실험에서 직경팽화율이 증가하면 비길이는 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 밀과 옥수수가루를 이용한 130°C 이상의 재래식 압출성형공정에서 직경팽화율이 증가하면 비길이는 감소하는 음의 상관관계를 갖는다고 보고한 Gu와 Ryu(8) 및 Ryu와 Ng(17)의 결과와 유사하였다.

체적밀도는 예비호화 현미분 0%, CO₂ 가스 주입량 800 mL/min으로 주입한 압출성형물이 0.61 g/cm³로 가장 낮았으며, 예비호화 현미분 50%, CO₂ 가스 주입량 0 mL/min일 때 0.97 g/cm³로 가장 높았다. 예비호화 현미분 함량에 따른 압출성형물의 체적밀도는 직경팽화율과 연관성을 나타내었다. 직경팽화율이 증가하면 체적밀도는 감소하였으며, 반대로 감소하면 체적밀도는 증가되었다. 전체적으로 CO₂ 가스가 주입되면 체적밀도는 감소되었다. 또한 Jeong 등(23)의 CO₂ 가스 주입량이 증가함에 따라 밀도가 감소한 보고와 일치하였다.

기계적 특성

현미분 함량과 CO₂ 가스 주입량에 따른 현미-야채류 압출성형물의 기계적 특성은 Table 1과 같다. 팽화지수, 밀도, 기공구조로 인해 영향을 받으며 압출성형물의 품질을 결정하는 중요한 인자인 겉보기탄성계수는 예비호화 현미분 50%, CO₂ 가스 주입량 300 mL/min일 때 5.20×10⁸ N/m²로 가장 낮은 값을 나타내었으며, 예비호화 현미분 0%, CO₂ 가스 주입량 0 mL/min일 때 1.43×10¹⁰ N/m²로 가장 높은 값을 나타내었다.

파괴력은 예비호화 현미분 50%, CO₂ 가스 주입량 0 mL/min일 때 2.75×10⁴ N/m²로 가장 낮은 값을 나타내었으며, 예비호화 현미분 0%, CO₂ 가스 주입량 600 mL/min일 때 3.72×10⁵ N/m²로 가장 높은 값을 나타내었다. 겉보기탄성계수는 예비호화 현미분 0%를 제외하고 CO₂ 가스를 주입하지 않을 때보다 주입하였을 때 결과가 감소하였다. 하지만 파괴력에 대한 CO₂ 가스 주입에 따른 영향은 없었다. 옥수수 전분을 사용하여 배럴온도 110~200°C의 재래식 압출성형공정을 이용한 Chinnaswamy와 Hanna(24)는 팽화율이 증가하면 파괴력이 감소했다고 하였는데, 이는 재래식 압출성형공정과 다르게 60°C의 압출성형공정에서는 물의 상변화로 인한 기공이 형성되지 않아 파괴력이 증가되었다고 판단된다.

수분흡착지수와 수분용해지수

예비호화 현미분 함량과 CO₂ 가스 주입량에 따른 현미-야채류 압출성형물의 수분흡착지수(WAI)와 수분용해지수(WSI)는 Table 2와 같다. 예비호화 현미분 0%를 첨가한 압출성형 처리구의 수분흡착지수와 수분용해지수가 무 처리구에 비해 증가하였다. 하지만 예비호화 현미분 30, 50%를 첨가한 경우 압출성형 처리구의 수분용해지수가 무 처리

Table 2. Effects of different α -brown rice ratio and CO₂ gas injection on water absorption, water solubility index, and pasting properties of extruded brown rice-vegetable mix and control

Feed material ¹⁾ (%)	CO ₂ gas injection (mL/min)	WAI (g/g)	WSI (%)	Paste viscosity ⁴⁾ (cp)					
				PV	TV	BV	FV	SV	PT
0/95/5	Control ²⁾	2.30±0.02 ³⁾	3.15±0.01 ^h	4,918	1,750	3,168	4,793	3,043	7.79
	0	2.95±0.05 ^{ef}	5.32±0.05 ^g	717	489	228	1,800	1,311	7.99
	300	3.30±0.04 ^{ab}	5.86±0.08 ^f	627	388	239	1,615	1,227	7.79
	600	3.40±0.01 ^a	5.71±0.14 ^{fg}	631	376	255	1,564	1,188	7.66
	800	3.00±0.04 ^{cd}	6.18±0.04 ^f	646	389	257	1,585	1,196	7.66
30/65/5	Control	2.39±0.01 ⁱ	10.39±0.12 ^d	1,387	1,018	369	2,625	1,607	7.86
	0	2.83±0.05 ^h	9.99±0.22 ^d	437	269	168	1,047	778	7.33
	300	2.93±0.01 ^{fg}	8.46±0.04 ^e	428	272	156	1,018	746	7.53
	600	3.02±0.06 ^{de}	9.58±0.07 ^d	437	276	161	1,009	733	7.39
	800	2.86±0.04 ^{gh}	8.96±0.08 ^e	428	255	173	1,006	751	7.46
50/45/5	Control	3.10±0.02 ^d	15.79±0.04 ^a	540	438	102	1,362	924	7.59
	0	3.23±0.02 ^c	8.49±0.12 ^e	386	87	299	554	467	6.46
	300	3.18±0.03 ^c	10.10±0.10 ^d	363	84	279	553	469	6.66
	600	3.25±0.06 ^{bc}	12.55±0.07 ^b	441	90	351	556	466	6.06
	800	3.08±0.01 ^d	10.92±0.10 ^c	438	76	362	545	469	6.13

¹⁾ α -Brown rice/ brown rice/ vegetable mix ratio.

²⁾ Before extrusion raw material.

³⁾ Values within the same column with different letters are significantly different at $P < 0.05$. Each value is the mean±SD of three replicates.

⁴⁾ PV: peak viscosity, CPV: cold peak viscosity, TV: through viscosity, BV: breakdown viscosity, FV: final viscosity, SV: setback viscosity, PT: peak time (min).

구에 비해 감소하였다. 이러한 결과는 배럴 내부의 예비호화 현미분의 함량이 0%인 경우 점도가 높아져 체류시간이 길어지고 강한 전단력을 받아 전분의 사슬이 절단되어 수분용해지수가 증가된 것으로 판단되며, 이와 반대로 예비호화 현미분의 함량이 30, 50%일 경우는 점도가 낮아져 수분용해지수가 무 처리구에 비해 감소한 것으로 판단된다. Jeong 등(23)과 Ferdinand 등(25)은 CO₂ 가스 주입량을 증가시키면 수분흡착지수와 수분용해지수가 증가하는 경향을 보인다고 보고하였으며, 본 연구 결과는 CO₂ 가스 주입에 의한 수분용해지수의 증가는 배럴 내부에서 CO₂ 가스와 수분의 반응으로 약산성인 CO₂가 생성되어 전분사슬을 절단해 수분용해지수가 증가한다고 보고한 Ryu 등(26)의 결과와 일치하였다.

Ryu(11)의 보고에 의하면 일반적인 압출성형공정을 통해 생산된 압출성형물의 수분용해지수는 비기계적에너지 투입량의 증가와 함께 증가한다고 하였다. 하지만 CO₂ 가스를 주입한 본 연구는 재래식 압출성형공정과는 다르게 비기계적에너지 투입량이 감소할수록 수분용해지수가 증가되었다.

미세구조

예비호화 현미분 함량과 CO₂ 가스 주입량에 따른 현미-야채류 압출성형물의 기공 구조는 Fig. 4와 같다. CO₂ 가스 주입량이 0 mL/min, 예비호화 현미분의 함량 0, 30, 50%일 때 사출구 온도가 60°C로 기공형성제인 수분의 상변화가 일어나지 않아 기공이 형성되지 않음을 볼 수 있었다. 예비호화 현미분의 함량이 0%일 때 CO₂ 가스 주입량이 300~800 mL/min으로 증가할수록 기공의 크기와 수가 증가하였

다. 예비호화 현미분의 함량 30%, CO₂ 가스 주입량이 300, 600 mL/min으로 주입했을 때 기공의 수가 CO₂ 가스를 주입하지 않을 때보다 증가된 것을 확인하였다. 예비호화 현미분의 함량 50%일 때는 CO₂ 가스 주입량이 300 mL/min에서만 기공의 수가 증가되었다. 이는 Jeong 등(23)은 CO₂ 가스 주입량이 증가할수록 압출성형물의 기공의 크기와 수가 증가하였다고 보고한 내용과 일치하였다.

또한 직경팽화율의 결과와도 매우 유사한 경향을 보였다. 직경팽화율이 증가한 조건에서 기공의 크기와 수가 증가된 미세구조를 확인할 수 있었다. 체적밀도와 비교해 보아도 기공의 수와 크기가 증가된 부분에서 밀도가 감소된 것을 확인할 수 있었다. 이와 같은 결과로 예비호화 현미분의 함량이 감소할수록 CO₂ 가스 주입을 통한 기공형성제 효과를 높여 직경팽화율을 증가시키고 밀도는 감소시킬 수 있다고 판단된다.

페이스트 점도

예비호화 현미분 함량과 CO₂ 가스 주입량에 따른 현미-야채류 압출성형물의 페이스트 점도는 Table 2와 같다. 예비호화 현미분 함량과 CO₂ 가스 주입량에 따른 현미-야채류 압출성형물의 고온최고점도와 최종점도는 예비호화 현미분의 함량이 증가할수록 값이 감소하였으며, CO₂ 가스 주입량이 증가할수록 최고점도가 감소하였다. 이는 Ryu(11)의 보고와 같이 CO₂ 가스와 물이 반응하여 약산인 CO₂가 전분의 가수분해를 유도해 CO₂ 가스 주입량이 증가할수록 전분 사슬의 절단으로 인하여 점도가 낮아져 감소한 것으로 판단된다. 구조과괴점도는 예비호화 현미분 0% 압출성형물

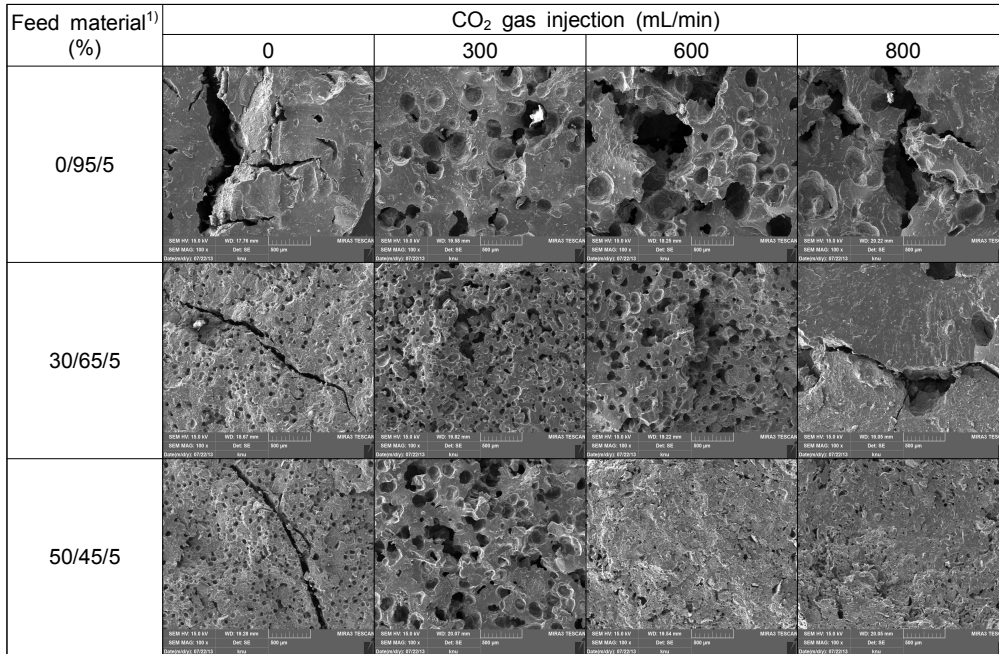


Fig. 4. Scanning electron micrographs of cross section of extruded brown rice-vegetable mix at different pre-gelatinized brown rice ratio and CO₂ gas injection. ¹⁾α-Brown rice/ brown rice/ vegetable mix ratio.

은 원료에 비해 매우 낮게 측정되었다. 예비호화 현미분 30%는 원료와 차이가 줄어들었으나 예비호화 현미분 50%는 원료보다 높은 구조파괴점도를 나타내었다. 회복점도는 압출성형물의 예비호화 현미분이 증가할수록 감소하며 압출성형물 전부 원료보다는 낮은 회복점도를 나타내었다. 예비호화 현미분의 함량이 증가할수록 peak time이 원료와 비교해 단축되었다. 이는 예비호화 현미분의 증가로 인해 peak time이 단축되었다고 판단된다. 재래식 고온 압출성형 공정은 CO₂ 가스를 주입한 압출성형에 비해 배럴 내부 흐름의 저항이 높아 용융물은 높은 전단력을 받아 전분의 사슬의 손상이 증가하여 저온최고점도가 존재한다. 하지만 본 연구에서는 저온최고점도가 아닌 고온최고점도가 나타난 것은 60°C의 저온 압출성형으로 인한 것으로 판단된다.

호화도

예비호화 현미분 함량과 CO₂ 가스 주입량에 따른 현미-야채류 압출성형물의 호화도 측정 결과는 Fig. 5와 같다. 예비호화 현미분 0%인 압출성형물 원료의 호화도는 17.63%로 측정되었다. 예비호화 현미분 30%인 압출성형물 원료의 호화도는 34.98%로 측정되었다. 예비호화 현미분 50%인 압출성형물 원료의 호화도는 63.63%로 측정되었다. 예비호화 현미분 0%일 때 압출성형물의 CO₂ 가스 주입이 증가할수록 호화도도 35~60%로 증가하였다. 예비호화 현미분 30%일 때 압출성형물의 CO₂ 가스 주입이 증가할 때 호화도는 39~64%로 증가하였다. 예비호화 현미분 50%일 때 압출성형물의 CO₂ 가스 주입이 증가할수록 호화도도 64~85%로 증가하였다. 예비호화 현미분 0, 30% 첨가된 압출성형물중 생식 제조의 기준이 되는 호화된 원료 50% 이하, CO₂ 가스 주입에 의한 저온압출공정에 의해 가열온도 60°C

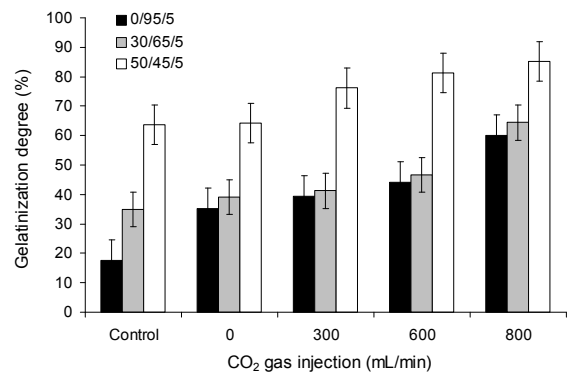


Fig. 5. Effects of different pre-gelatinized brown rice ratio (0, 30, 50%) and CO₂ gas injection on gelatinization degree of extruded brown rice-vegetable mix. Each value is the mean±SD of three replicates.

이하를 충족시키는 압출성형 조건에서 팽화가 가능한 것으로 판단되었다.

요 약

예비호화 현미분 함량과 CO₂ 가스 주입량에 따른 현미-야채류 압출성형물의 물리적 특성에 미치는 영향을 분석하기 위해 비기계적에너지, 팽화 특성, 기계적 특성, 수분용해지수와 수분흡착지수, 미세구조, 페이스트 점도, 호화도를 분석하였다. 수분 함량 30%, 사출구 온도 60°C, 스크루 회전속도 100 rpm, 원료 사입량 100 g/min, 사출구 3 mm 원형으로 고정하였고, CO₂ 가스 주입량(0, 300, 600, 800 mL/min)으로 조절하였다. 원료는 예비호화 현미분/현미분/채소분을 0/95/5, 30/65/5, 50/45/5로 배합하여 사용하였다.

비기계적에너지 투입량은 예비호화 현미분 함량이 증가할수록 감소하였다. 예비호화 현미분 함량에 따른 압출성형물은 CO₂ 가스 주입량이 증가할수록 직경팽화율이 증가하다가 내부 기공이 붕괴되면 직경팽화율은 감소하였다. CO₂ 가스 주입량이 증가할수록 체적밀도는 감소하였다. 예비호화 현미분 함량이 감소할수록 CO₂ 가스 주입량에 따른 기공의 변화가 크게 나타났다. 페이스트 점도 측정 결과는 저온최고 점도가 나타나지 않았으며 원료와 유사한 peak time을 가지고 고온최고점도를 나타내었다. 또한 CO₂ 가스 주입량이 증가할수록 호화도도 증가하였다. 결론적으로 CO₂ 가스를 주입한 60°C의 저온 압출성형공정은 채래식 압출성형공정과 동일한 팽화율과 낮은 밀도는 아니지만 생식팽화스넥 제조에 적용될 수 있는 공정으로 판단되었다.

감사의 글

본 연구는 한국연구재단의 지역대학우수과학자지원사업의 연구과제(2014R1A1A4A030040 18)로 수행된 결과의 일부이며 이에 감사드립니다.

REFERENCES

1. Lee SY. 2002. Manufacture processing of uncooked food on the market. *Food Ind* 7: 11-15.
2. Jin TY, Oh DH, Rhee CO, Chung DO, Eun JB. 2006. Change of physicochemical characteristics and functional components in the cereal of *Saengsik*, uncooked food by washing with electrolyzed water. *Korean J Food Sci Technol* 38: 506-512.
3. Chang TE, Moon SY, Lee KW, Park JM, Han JS, Song OJ, Shin IS. 2004. Safety/toxicology: microflora of manufacturing process and final products of Saengshik. *Korean J Food Sci Technol* 36: 501-506.
4. Lee YJ, Lee HM, Park TS. 2003. Effects of uncooked powdered food on antioxidative system and serum mineral concentrations in rats fed unbalanced diet. *Korean J Nutr* 36: 898-907.
5. Park JY, Jeong HJ, Kim YM, Park SJ, Rho MC, Park KH, Ryu YB, Lee WS. 2011. Characteristic of alkylated chalcones from *Angelica keiskei* on influenza virus neuraminidase inhibition. *Bioorg Med Chem Lett* 21: 5602-5604.
6. Lisiewska Z, Kmiecik W, Korus A. 2008. The amino acid composition of kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*), fresh and after culinary and technological processing. *Food Chem* 108: 642-648.
7. Kim SL, Son YK, Son JR, Hur HS. 2001. Effect of germination condition and drying methods of physicochemical properties of sprouted brown rice. *Korean J Crop Sci* 46: 221-228.
8. Gu BJ, Ryu GH. 2011. Effects of die geometry on expansion of corn flour extrudate. *Food Eng Prog* 15: 148-154.
9. Happer JM. 1989. Food extruders and their application. In *Extrusion Cooking*. Mercier C, Linko P, Harper JM, eds. AACC, Inc., St. Paul, MN, USA. p 91-155.
10. 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.
11. Ryu GH. 1995. Extrusion process with gas injection. *Food Sci Ind* 28: 30-38.
12. Ryu GH, Mulvaney SJ. 1995. Cornmeal puffing with CO₂ gas: effect of sucrose and glyceryl monostearate (GMS). *Korean J Food Sci Technol* 27: 251-256.
13. Ryu GH, Mulvaney SJ, Rizvi SSH. 1993. The effect of sucrose and glyceryl monostearate (GMS) on process variables and properties of cornmeal extrudates puffed with carbon dioxide gas. 53rd Annual Meeting of IFT, Chicago, IL, USA. p 127.
14. Gil SK, Ryu GH. 2013. Effects of die temperature and CO₂ gas injection on physical properties of extruded brown rice-vegetable mix. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 42: 1848-1856.
15. Alvarez-Martinez L, Kondury KP, Happer JM. 1988. A general model for expansion of extruded products. *J Food Sci* 53: 609-615.
16. Tie J, Gu BJ, Ryu GH. 2010. Manufacturing of hemp seed flake by using extrusion process. *Food Eng Prog* 14: 99-105.
17. 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.
18. AACC. 1983. *Approved method of the AACC*. 10th ed. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA. Method 56-20.
19. Ryu GH, Neumann PE, Walker CE. 1993. Pasting of wheat flour extrudates containing conventional baking ingredients. *J Food Sci* 58: 567-573.
20. Nelson N. 1944. A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of glucose. *J Biol Chem* 153: 375-377.
21. Senouci A, Smith AC. 1986. The extrusion cooking of potato starch material. *Starch-Stärke* 38: 78-82.
22. Tayeb J, Valle GD, Barres C, Vergnes B. 1992. *Simulation of transport phenomena in twin-screw extruders*. Marcel Dekker, Inc., New York, NY, USA. p 41-70.
23. Jeong HS, Min YK, Toledo RT. 2002. Effects of low temperature extrusion method on the physical properties and cell structure of pregelatinized rice flour extrudate. *Food Eng Prog* 6: 145-151.
24. Chinnaswamy R, Hanna MA. 1999. Macromolecular and functional properties of native and extrusion cooked cornstarch. *Cereal Chem* 6: 490-498.
25. Ferdinand JM, Lai-Fook RA, Ollett AL, Smith AC, Clark SA. 1990. Structure formation by carbon dioxide injection in extrusion cooking. *J Food Eng* 11: 209-224.
26. Ryu GH, Kang SH, Lee EY, Lim ST. 1997. Effect of CO₂ gas injection on properties of extruded corn starch. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 26: 436-442.