

압출성형 공정변수가 압출성형 펠릿의 팽화에 미치는 영향

김재현 · 류기형
공주대학교 식품공학과

Effects of Extrusion Process Parameters on Puffing of Extruded Pellets

Jae-Hyun Kim and Gi-Hyung Ryu

Department of Food Science and Technology, Kongju National University

Pressure-puffing system or extruder has been used to puff rice kernel or rice flour. Most of the study on rice puffing were the effect of process conditions such as moisture content and heating temperature on physical and chemical characteristics of popped rice. The study on mechanism and development of instant puffed rice like popcorn has been limited. Extruded waxy rice pellets were puffed in a microwave oven after drying and conditioning. Extruded pellets were formed with extrusion conditions of 20~27% moisture content, 2.76 MPa CO₂ gas injection pressure and 200 rpm screw speed. Under these conditions, puffed waxy rice pellets in microwave oven had low density and soft texture. Density and texture of puffed waxy rice pellet could be optimized by control of moisture content, CO₂ gas injection pressure and screw speed that affect significantly when puffing extruded waxy rice pellet.

Key words : gas injection, extrusion conditions, puffed rice pellet(poprice)

서 론

곡류를 팽화시키면 수분의 증발에 의한 건조와 팽화에 의한 조직의 향상 및 전분의 호화를 비롯한 성분의 변화가 수반되어 맛과 조직감이 향상되므로 여러 가지 식품의 가공에 팽화공정이 응용되고 있다. 팽화의 원리는 고온 고압의 팽화공정을 통해서 곡류 전분 및 단백질의 용융에 의한 점탄성을 갖는 용융반죽에 포함된 수분 또는 가스등의 비체적의 증가에 의해 파열되어 조직을 형성하는 것을 말한다^(1,2).

압출성형공정은 곡류를 팽화시키는 공정중의 하나로 최근 팽화식품의 제조에 널리 이용되고 있다. 압출성형공법으로 팽화시킬 때의 장점은 연속공정이 가능하며, 분말원료의 사입이 가능하므로 쌀 낱알의 형태는 팽화제품의 성질에 크게 영향을 미치지 않는다는 것이다. 그러나 puffing gun을 사용하여 쌀을 고온·고압의 밀폐된 용기 속에서 팽화시킬 때, 쌀 낱알의 물리적 성질과 수분함량 등이 팽화부피와 팽화율에 크게 영향을 미친다. 또한 puffing gun을 사용한 팽화에서는 연속공정이 불가능한 공정상의 단점이 있다. Puffing gun

을 이용하여 팽화된 팽화쌀은 초콜릿과 스낵용으로 주로 이용되고 있으며, 제품으로는 rice chocolate bar, rice ball, rice flake, rice cube 등의 다양한 제품생산에 이용되고 있다⁽³⁾.

상압가열에서 쌀 낱알 팽화의 경우에는 팝콘과 비교하여 거의 연구가 되지 않았다. 상압에서의 쌀 팽화에 관한 연구는 주로 인도의 연구자들에 의해 연구되어 왔으며, 상압에서 모래를 쌀과 함께 가열시켜서 제조한 팽화쌀은 지금도 스낵 제품으로 많이 소비되고 있는 실정이다⁽⁴⁾. 우리나라에서도 상압에서의 팽화쌀의 제조는 주로 전통한과(유과 등)의 제조시 표면에 팽화쌀 입자를 입히기 위하여 제조되고 있지만, 지금까지 상압에서의 쌀의 팽화에 관한 연구는 거의 이루어지지 않았으며, 고온·고압에서 puffing gun을 사용하여 팽화쌀을 주로 제조하고 있는 실정이다.

압출성형공법은 현재 식품산업에서 소비자들의 다양한 욕구를 충족시킬 수 있는 제품을 개발하고 기존의 제품생산 공정을 단축 또는 대체하는데 많이 이용되고 있는 중요한 공정중의 하나이다^(5,6). 특히 압출성형공법은 곡류를 원료로 한 cereal 및 다공성 스낵제조 등에 많이 이용되고 있다^(7,8). 압출성형 후 압출성형물은 그대로 제품으로 이용되기도 하며, 압출성형된 펠릿을 유탕처리, 열풍팽화, 또는 절단압착 등을 통한 성형 가공공정을 거친 후 가열팽화, microwave파를 이용한 팽화, 향료나 비타민 등의 영양강화코팅^(9,10) 등을 하여 영양소의 파괴를 줄인 제품의 제조 등 그 응용범위가 상당히 넓다. 기존에는 기공형성제(bubble forming agent)로 물을

Corresponding author : Gi-Hyung Ryu, Department of Food Science and Technology, Kongju National University, Yesan, Chungnam 340-800, Korea
Tel : 82-41-330-1122
Fax : 82-41-332-2485
E-mail : ghryu@knu.kongju.ac.kr

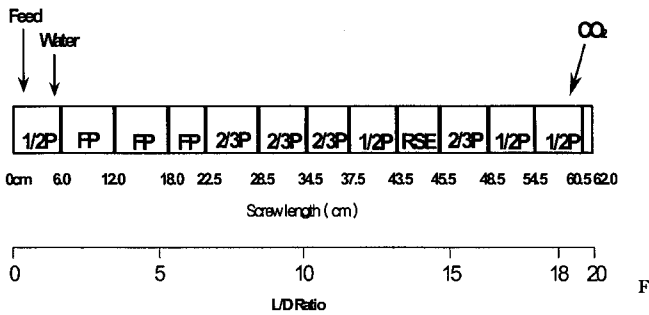


Fig. 1. Screw configuration used in this experiment
 FP: full pitch, 1/2P: 1/2 of full pitch, 2/3P: 2/3 of full pitch, RES: reverse screw element

이용하였으나 100°C 이상의 온도가 요구되고 sucrose를 곡류 원료에 첨가할 경우 반죽의 수분흡수율이 감소하여 팽화율이 감소⁽²⁾되는 문제점 등이 있다. 그래서 최근에는 CO₂ 가스나 임계 CO₂를 압출성형기 바렐로 주입하여 기공형성제로 이용하려는 시도가 이루어지고 있다^(9,12-14).

본 연구는 CO₂ 가스주입에 의한 압출성형공정을 통해 펠릿을 제조하여 재조합 압출성형팽화쌀을 제조하기 위한 연구로서 압출성형 가공변수(수분함량, 스크류회전속도 등)와 CO₂ 가스주입 압력이 압출성형 팽화펠릿의 팽화도와 조직감에 미치는 영향을 비교 분석하였다.

재료 및 방법

재료

참쌀(홍성산, 수분함량 13%)을 구입하여 3일간 수침한 후, 롤러밀을 사용하여 입자크기 60 mesh 이하로 분쇄하였다. 수분함량 38.4%인 분쇄한 참쌀가루를 압출성형 원료로 사용하였다.

압출성형 및 펠릿팽화

압출성형기는 실험용 쌍축 동방향 압출성형기(co-rotating twin screw extruder)로 스크류직경은 31 mm, L/D비는 22로 조절하였다. 모터용량 7.5 HP, 사출구직경은 4 mm인 원형(circular type)을 사용하였다. 스크류(screw) 배열은 high-shear screw를 이용하였고 역방향 스크류 배열하여 CO₂ 가스가 원료사입구로 역류하는 것을 방지하였다(Fig. 1). CO₂ 가스는 1/2P 사이에서 주입하였으며 밸브를 이용해 주입량을 조절하였다. CO₂ 가스주입 압력은 1.4, 2.8, 5.5 MPa로 각각 변화시켜 주입하였다. 원료사입부에 수침하여 분쇄한 참쌀가루(수분함량 38.4%)를 수분의 주입 없이 사입하였으며 바렐온도는 0.5 kW 전열기를 사용하여 가열하였고 105°C로 일정하게 조절하였다. 사출구 직전의 바렐에 냉각수를 통과시켜 수분에 의한 팽화가 발생하지 않도록 하였다. 원료사입속도는 사입기 스크류회전속도를 20 rpm으로 고정하여 원료주입량이 10.8 kg/hr가 되도록 하였다. 스크류회전속도는 150, 200, 250 rpm으로 각각 변화시켰다. 압출성형 펠릿을 열풍 건조하여 수분을 18.0~29.0%로 조절한 다음 약 4 cm 크기로 절단하여 650 W의 출력, 2,450 MHz 주파수 조건의 microwave oven(Sharp Electronics Co., Japan)을 이용하여 압출성형 펠릿을 가열하여 팽화시켰다.

수분함량

자동 수분측정기(MB200, Ohaus Co., USA)를 사용하여 150°C에서 30분간 가열하도록 설정하였으며, 시료펠릿 8~10 g을 잘게 절단하여 수분함량을 측정하였다.

밀도

팽화시킨 압출성형펠릿의 부피는 좁쌀을 이용하는 종자치환법으로 입자부피를 구한 후, 무게를 측정하여 밀도를 계산하였다. 3번의 측정값의 평균값으로 나타내었다.

$$\rho_c = \frac{W_c}{W_r} \times \rho_r$$

여기서 ρ_c 는 압출성형 팽화펠릿의 밀도(g/mL), W_c 는 압출성형 팽화펠릿의 무게(g), W_r 는 압출성형 팽화펠릿의 부피에 해당되는 좁쌀의 무게(g), ρ_r 는 좁쌀의 용적밀도(g/mL)를 나타낸다⁽¹⁵⁾.

조직감

압출성형 팽화펠릿의 조직감은 Sun Rheometer(Sun Scientific Co. Ltd. Japan)를 이용하여 측정하였다. 측정조건은 최대 압착력(maximum force) 10 kg, 지지대 이동속도 100 mm/min 및 지지대 사이의 거리(distance between supports) 3 cm 이었다. 측정치를 Launay 등⁽¹⁶⁾이 제시한 아래의 식을 이용하여 겔보기탄성계수(apparent elastic modulus, E_{app})와 파괴력(rupture strength, F_{rs})을 구하였다.

$$E_{app} = (dF/dl) (64d^3/48\pi D^4)$$

E_{app} : 겔보기탄성계수(kPa)
 dF/dl : 힘-거리곡선에서 초기기울기(N/m²)
 D : 시료의 단면적(m²)
 d : 지지대의 거리(m)

$$F_{rs} = Fr/S$$

Fr : 압출성형 팽화펠릿의 파괴력(N)
 S : 시료의 단면적(m²)

결과 및 고찰

수분함량의 영향

펠릿의 수분함량은 펠릿을 팽화시킬 때, 액체상태의 수분이 고온에서 수증기로 상전환이 될 때, 비체적의 증가에 의해 펠릿의 조직을 파괴시키는 기공형성제로 작용하므로 펠릿 내부의 수분함량과 분포는 팽화에 영향을 미치는 주요한 인자가 될 수 있다⁽²⁾.

압출성형 펠릿을 30분 단위로 건조하여 수분함량별로 microwave oven에서 팽화시킨 후 밀도와 겔보기 탄성계수 및 파괴력을 Fig. 2, 3, 4에 각각 나타내었다. 압출성형 조건은 스크류회전속도 200 rpm, 2.8 MPa 압력의 CO₂ 가스를 주입하여 펠릿을 제조하였다. 수분함량이 18.5%와 26.0%인 경우 밀도가 0.16 g/mL과 0.24 g/mL로 각각 높게 나타나는 경향을 보였으며 수분함량 20.7~23.4%에서는 0.11~0.13 g/mL로 비교적 낮게 나타났다.

수분함량이 18.5%와 29.0%의 펠릿을 팽화했을 때 각각

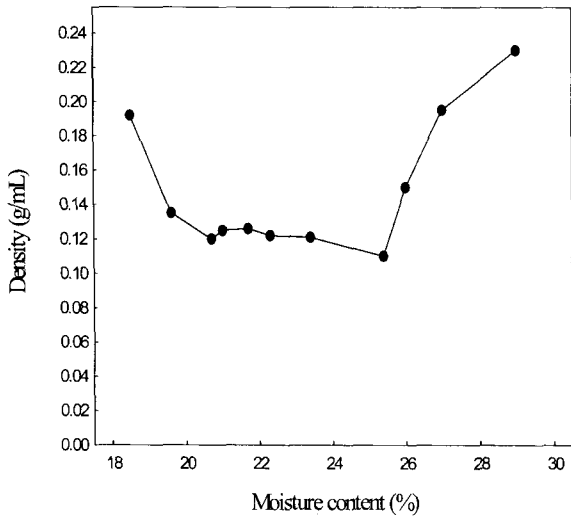


Fig. 2. Effects of moisture content of dried pellets on density of expanded pellets

The values are reported as mean±SD(n=3). Extrusion conditions were 105°C barrel temperature, 200 rpm screw speed and 2.8 MPa CO₂ gas injection pressure.

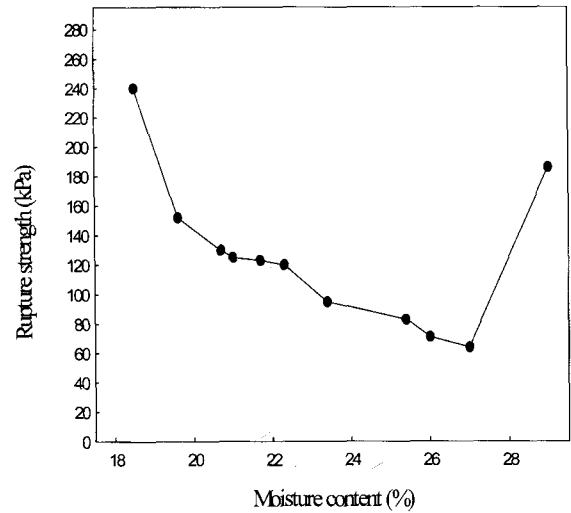


Fig. 4. Effects of moisture content of dried pellets on rupture strength of expanded pellets

The values are reported as mean±SD(n=10). Extrusion conditions were 105°C barrel temperature, 200 rpm screw speed and 2.8 MPa CO₂ gas injection pressure.

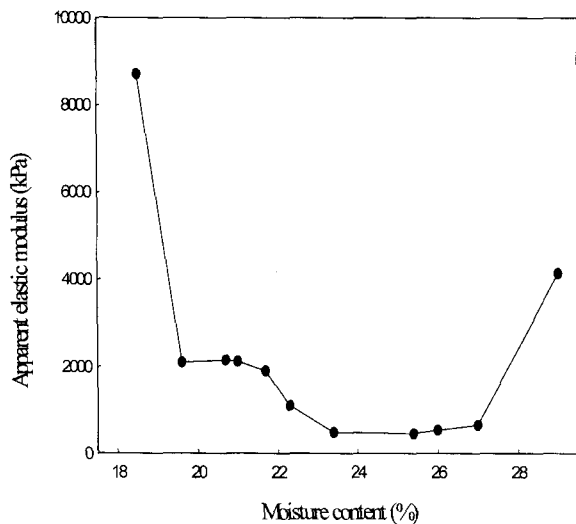


Fig. 3. Effects of moisture content of dried pellets on apparent elastic modulus of expanded pellets

The values are reported as mean±SD(n=10). Extrusion conditions were 105°C barrel temperature, 200 rpm screw speed and 2.8 MPa CO₂ gas injection pressure.

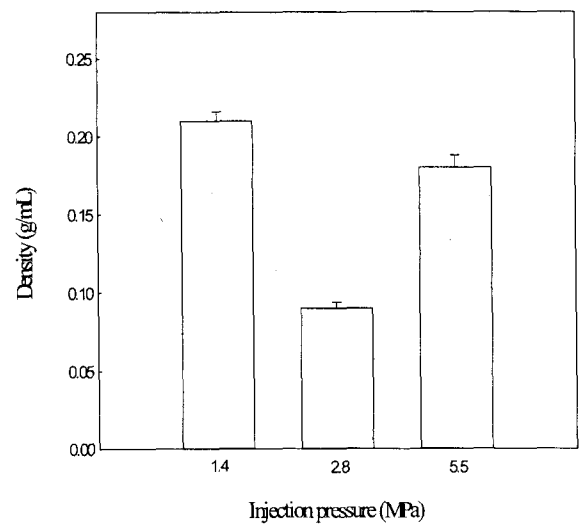


Fig. 5. Effects of CO₂ gas injection pressure on density of expanded pellets

The values are reported as mean±SD(n=3). Extrusion conditions were 105°C barrel temperature and 200 rpm screw speed. Moisture content of dried pellets was 22.7%.

8,667 kPa과 4,132 kPa의 비교적 높은 겉보기탄성계수는 각각 241 kPa과 186 kPa의 비교적 높은 파괴력을 나타내는 경향을 보였다. 수분함량 23.4~27.7%에서 겉보기탄성계수 730~1,186 kPa과 파괴력 62~90 kPa의 비교적 낮은 경향을 보였다.

이것은 수분함량이 23% 이하인 경우, 펠릿 내부에 팽화에 기공형성제의 역할을 하는 수분의 부족으로 기공의 형성이 부족하여 수분이 감소할수록 밀도가 증가하고 조직이 견고한 경향을 보이고, 수분함량이 28%이상에서 펠릿을 팽화시에는 펠릿 내부의 수분이 팽화 후에도 조직 속에 수분이 존재하여 수분함량이 증가할수록 형성된 기공이 수축되어 펠릿의 수분함량이 증가할수록 조직이 단단한 것으로 판단되었다.

수분함량 20~27%의 압출성형 펠릿을 microwave oven에서 팽화시킬 때, 최적의 기공형성과 형성된 기공의 수축이 감소되어 밀도, 겉보기 탄성계수 및 파괴력이 낮은 팽화펠릿을 생산할 수 있었다.

CO₂ 가스 주입량의 영향

CO₂ 가스를 주입하여 펠릿의 조직 내부에 기공을 형성시킬 수 있으며, 가스주입에 의해 형성된 기공은 펠릿내부의 수분 분포를 균일하게 하여 팽화시에 조직 내부에 형성된 기공의 크기와 분포를 균일하게 한다⁶⁾. 따라서 CO₂ 가스 주입에 의한 기공의 형성은 팽화펠릿의 밀도 및 조직감에 영향

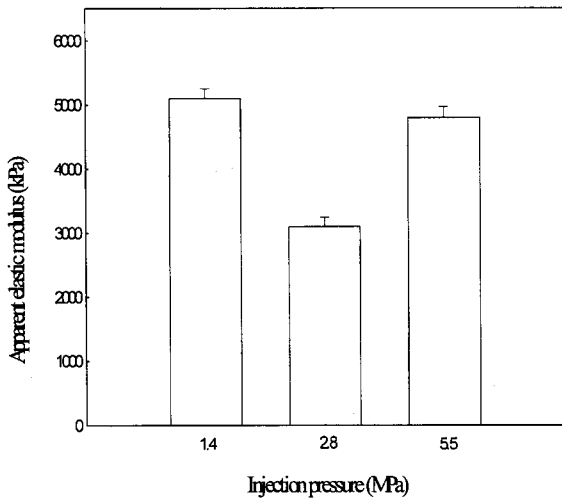


Fig. 6. Effects of CO₂ gas injection pressure on apparent elastic modulus of expanded pellets

The values are reported as mean±SD(n=10). Extrusion conditions were 105°C barrel temperature and 200 rpm screw speed. Moisture content of dried pellets was 22.7%.

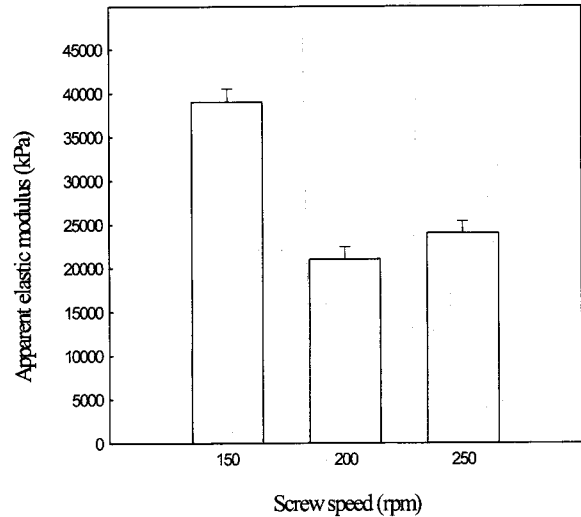


Fig. 8. Effects of screw speed on apparent elastic modulus of expanded pellets

The values are reported as mean±SD(n=10). Extrusion conditions were 105°C barrel temperature and 2.8 MPa CO₂ gas injection pressure. Moisture content of dried pellets was 23.4%.

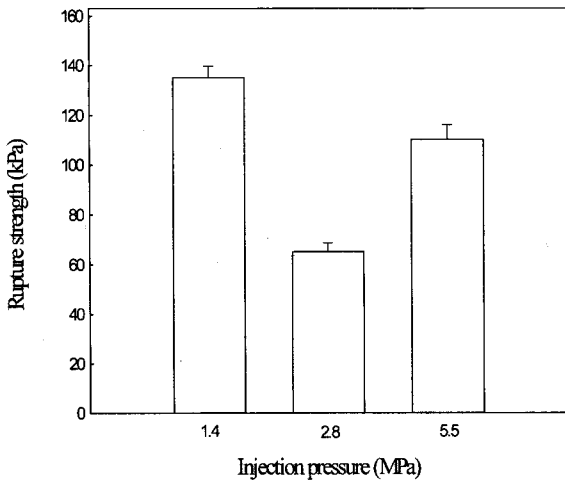


Fig. 7. Effects of CO₂ gas injection pressure on rupture strength of expanded pellets

The values are reported as mean±SD(n=10). Extrusion conditions were 105°C barrel temperature and 200 rpm screw speed. Moisture content of dried pellets was 22.7%.

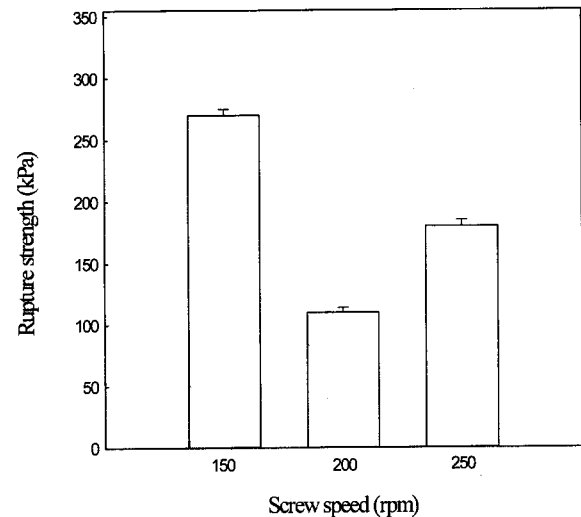


Fig. 9. Effects of screw speed on rupture strength of expanded pellets

The values are reported as mean±SD(n=10). Extrusion conditions were 105°C barrel temperature and 2.8 MPa CO₂ gas injection pressure. Moisture content of dried pellets was 23.4%.

을 미치는 중요한 인자가 될 수 있다.

CO₂ 가스 주입량에 따른 팽화펠릿의 밀도, 겉보기 탄성계수 및 파괴력의 변화를 Fig. 5, 6, 7에 각각 나타내었다. 압출성형공정 중에 CO₂ 가스를 1.4, 2.8, 5.5 MPa의 주입압력을 달리하여 주입되는 CO₂ 가스의 양을 조절하였다. 또한 스크류 회전속도를 200 rpm으로 일정하게 하였고, 압출성형 펠릿시료를 건조한 후 절단한 펠릿의 수분함량은 22.7%로 고정하였다.

CO₂ 가스 주입량이 밀도 변화에 주는 영향을 살펴보면 CO₂ 가스주입 압력이 2.76 MPa인 경우에 0.09 g/mL, 1.4 MPa일 때 0.21 g/mL과 5.5 MPa일 때 0.18 g/mL에 비해 비교적 낮게 나타났다. 이러한 결과는 CO₂ 가스주입에 의한 압출성형공법을 이용하여 옥수수가루를 직접 팽화시켰을 때, 주입압력이 낮으면 기공의 형성이 낮고, 주입압력이 증가하

면 기공이 주입된 가스에 의해 파괴되어 밀도가 증가했다는 보고⁽⁵⁾와 일치하였다.

겉보기탄성계수와 파괴력도 CO₂ 가스 주입량이 2.8 MPa에서 각각 3,112 kPa과 68 kPa로 낮게 나타났다. CO₂ 가스 주입압력이 1.4 MPa일 경우, 겉보기 탄성계수 5,108 kPa과 파괴력 135 kPa을 나타내어 높은 경향을 보였다. 이것은 펠릿 내부의 균일한 기공의 형성에 낮은 압력으로 압출성형 펠릿의 팽화시 밀도 및 조직감 측정치가 높게 나타난 것으로 사료된다. 또한 5.5 MPa의 높은 압력에서는 겉보기탄성계수 4,812 kPa과 파괴력 111 kPa을 나타내어 균일한 기공의 형성보다는 압력이 높아 불균일한 기공의 형성으로 밀도 및 조직감 측정치가 높게 나타나는 것으로 사료되었다.

그러므로 펠릿의 수분함량과 함께 압출성형 공정에서 CO₂ 가스 주입량의 적절한 조합에 펠릿 내부의 균일한 기공의 크기와 분포를 최적화에 의해 팽화펠릿의 밀도와 조직감을 최적화 할 수 있는 것으로 사료되었다.

스크류회전속도의 영향

압출성형기 스크류 회전속도를 150, 200, 250 rpm으로 각각 달리하여 제조한 압출성형펠릿을 건조하여 팽화시킨 펠릿의 겉보기탄성계수 및 파괴력을 Fig. 8, 9에 각각 나타내었다. 이때 건조 펠릿의 수분함량과 CO₂ 가스 주입압력은 실험을 통해 최적조건은 23.4%와 2.8 MPa로 고정하였다.

스크류회전속도 200 rpm에서 제조된 펠릿을 팽화시켰을 때, 겉보기탄성계수 20,324 kPa과 파괴력 111 kPa로 비교적 낮게 나타났으며 스크류 회전속도 150 rpm에서 제조된 펠릿을 팽화시켰을 때 겉보기탄성계수 39,218 kPa과 파괴력 275 kPa, 스크류회전속도 250 rpm에서 제조된 펠릿을 팽화했을 때 겉보기탄성계수 24,115 kPa과 파괴력 184 kPa로 스크류회전속도 200 rpm으로 하여 제조한 펠릿을 팽화한 시료보다 높은 경향을 보였다.

이상의 결과들에 의하여 수분함량 20~27%, 2.8 MPa의 CO₂ 가스 주입압력, 스크류회전속도 200 rpm으로 제조한 압출성형 펠릿을 microwave oven에서 팽화시켰을 때, 비교적 낮은 밀도와 낮은 겉보기탄성계수 및 파괴력을 보여 형성된 기공에 의한 조직은 부드러운 조직감을 보였다. 압출성형 펠릿을 microwave oven에서 팽화시 CO₂ 가스의 주입량과 스크류회전속도 등의 가공변수 조절에 의해 팽화 및 조직감을 최적화 할 수 있었다. 특히 수분함량과 CO₂ 가스 주입압력이 조직내 기공형성 및 팽화 펠릿의 특성에 큰 영향을 미치는 요소가 되는 것을 알 수 있었다.

요 약

쌀의 팽화에 관한 연구는 팝콘에 관한 연구와 비교하면 매우 미흡한 편이다. 쌀을 팽화시킬 때 대부분 가압식 팽화기나 압출성형기를 이용하고 있다. 대부분의 쌀의 팽화에 관한 연구는 인도에서 이루어져 왔으며, 가공조건(수분함량, 가열 온도) 등이 팽화쌀의 물리화학적 성질에 관한 연구가 대부분이다. 팝콘과 같은 인스턴트 팽화쌀의 팽화기작 및 개발에 관한 연구는 극히 제한되어 있다. 압출성형 팽화펠릿의 팽화에서 3일 수침 후 분쇄한 찹쌀을 이용하여 수분함량 20~27%, CO₂ 가스주입압력 2.8 MPa, 스크류회전속도 200 rpm으로 제조한 펠릿을 microwave oven에서 팽화시 밀도와 조직감이 비교적 낮게 나타나는 경향을 보였다. 또한 압출성형기로 제조된 펠릿의 팽화시 가장 큰 영향인자는 펠릿의 수분함량과 가스주입압력, 스크류회전속도의 조절에 의해 팽화 및 조직감을 최적화 할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 1998년도 한국과학재단 목적기초연구(971-0604-023-2) 연구비 지원에 의하여 수행된 연구로서 지원에 감사드립니다.

문 헌

1. Payne, F.A., Taraba. and Saputra, D.A. Review of puffing processes for expansion of biological products. *J. Food Eng.* 10: 183-197 (1989)
2. Ryu, G.H. Extrusion process with gas injection(in Korean). *Food Science and Industry* 28: 30-38 (1995)
3. Riedel, H.R. Uses for puffed rice. *Confectionery Production* 49: 488-490 (1983)
4. Murugesan, G. and Bhattacharya, K.R. Studies on puffed rice. I. Effect of processing conditions. *J. Food Sci. Technol.* 23: 197-202 (1986)
5. Ryu, G.H. and Mulvaney, S.J. Cornmeal puffing with CO₂ gas: Effect of sucrose and glyceryl monostearate(GMS). *Korean J. Food Sci. Technol.* 27: 251-256 (1995)
6. Ryu, G.H., Kang, S.H., Lee, E.Y. and Lim, S.T. Effect of CO₂ gas injection on properties of extruded corn starch. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 26: 436-442 (1998)
7. Harper, J.M. Food extruders and their application. In *Extrusion cooking*. Mercier, C., Linko, P. and Harper, J.M. (ed.) pp. 1-15 American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota, USA (1989)
8. Shukla, T.P. Cereal grains and legume processing by extrusion. *Cereal Foods World* 41: 35-36 (1996)
9. Rizvi, S.S.H. and Mulvaney, S. Extrusion processing with supercritical fluids. U.S. patent 5,120,599 (1992)
10. Tribelhorn, R.E. and Harper, J.M. Extruder-cooker equipment. *Cereal Foods World* 25: 154-156 (1980)
11. Ryu, G.H., Mulvaney, S.J. and Rizvi, S.S.H. The effect of sucrose and glyceryl monostearate(GMS) on process variables and properties of cornmeal extrudates puffed with carbon dioxide gas. 53th Annual Meeting of IFT, Chicago, IL (1993)
12. Mulvaney, S.H. and Rizvi, S.H. Extrusion processing with supercritical fluids. *Food Technol.* 47 (1993)
13. Ferdinand, J.H., Clark, S.A. and Smith, A.C. Structure formation in extrusion-cooked starch-sucrose mixtures by carbon dioxide injection. *J. Food Eng.* 16: 283-291 (1992)
14. Ferdinand, J.H., Lai, R.A., Ollett, A.L., Smith, A.C. and Clark, S.A. Structure formation by carbon dioxide injection in extrusion cooking. *J. Food Eng.* 11: 209-224 (1990)
15. Halek, G.W. and Chang, K.L.B. Effect of extrusion operation variables on functionality of extrudates. In *Food Extrusion Science and Technology*. Kokini, J.L., Ho, C.T. and Karwe, M.V. (ed.) Marcel Dekker, Inc, New York, pp. 677-691 (1992)
16. Launay, B. and Lisch, J.M. Twin-screw extrusion cooking of starches: Flow behaviour of starch pastes, expansion and mechanical properties of extrudates. *J. Food Eng.* 2: 159-180 (1993)

(2000년 7월 24일 접수)