

사출구 구조에 따른 옥수수가루 압출성형물의 팽화특성

구본재 · 류기형*
공주대학교 식품공학과

Effect of Die Geometry on Expansion of Corn Flour Extrudate

Bon-Jae Gu and Gi-Hyung Ryu*

Department of Food Science and Technology, Kongju National University

Abstract

The objective of this study was to determine the effect of die geometry on expansion index of extruded corn flour. Water solubility index, water absorption index and specific mechanical energy (SME) input were analyzed to observe the relationship with die geometry. The feed moisture content was 20 and 25%. Die dimensions were tapered angle (57, 95°) and length/diameter (L/D) ratio of die land (0.67, 1.67 and 2.67). The SME input was the highest at 20% moisture content and 2.23E-10 m³ die constant. The sectional and volumetric expansion indices at 20% moisture were increased with increase in die constant. However, die constant did not influence sectional expansion index of corn flour extrudate at 25% moisture content. The extruded corn flour at 25% moisture content had higher longitudinal expansion index than those of extruded corn flour at 20% moisture content. Sectional expansion and longitudinal expansion index were negatively correlated. The water absorption index and water solubility index were not affected with the die constant.

Key words: extruded corn flour, die constant, die geometry, expansion index

서 론

압출성형공정은 다른 가열처리공정과 비교하여 경제적인 연속공정으로 플라스틱, 사료, 식품산업 등 여러 분야에서 적용되고 있으며 식품산업에서는 조직화 단백질 제품, 스낵과 시리얼 제조 등 다양하게 이용되고 있다(Harper, 1986). 또한 압출성형공정은 고온, 고압, 고전단력 공정으로 전분의 호화와 텍스트린화, 단백질의 변성 등 이화학적 변화가 일어나며 100°C 이상의 고온과 수분을 함유한 내부 용융물이 사출구멍을 통하여 사출될 때 급격한 압력감소에 의해 용융물이 함유하고 있는 수분은 수증기로 상변화를 하는데 이 비체적의 증가로 인하여 점탄성을 가진 용융물은 팽화한다(Harper, 1986; Bouzaza et al., 1996).

압출성형은 독립변수인 원료투입량, 수분투입량, 배럴의 온도, 스크루 회전속도와 배열, 사출구의 구조를 변화시켜 내부 용융물의 온도와 점도, 압력, 체류시간, 비기계적 에너지

투입량을 조절하여 최종 제품인 압출성형물의 물리, 화학적 특성을 조절할 수 있다. 여기서 독립변수인 사출구는 압출성형공정에서 중요한 요소로서 최종 제품의 모양과 조직, 팽화 등 압출성형물의 품질에 영향을 미친다(Padmanabhan & Bhattacharya, 1989).

여러가지 압출성형 목적변수 중 팽화지수는 바삭바삭한 조직감과 관계가 깊다(Chinnaswamy & Hanna, 1988). 따라서 스낵과 시리얼에서 팽화지수는 제품품질에 있어서 중요한 물리적 특성이다(Alvarez-Martinez et al., 1988; Baldran-Quintana et al., 1998).

Harper(1981)는 압출성형을 통한 감자전분의 높은 호화도는 높은 팽화지수를 보인다고 보고하였으며, Chaing & Johnson(1977)는 밀가루를 압출성형 할 때 온도가 높고 사출구멍이 작을 때 호화도가 증가하였으며 스크루 회전속도가 증가하였을 때 짧은 체류시간으로 인하여 호화도가 감소하였다고 하였다. 한편 Chinnaswamy & Hanna(1987)는 옥수수전분을 이용한 압출성형공정에서 7 MPa의 고압과 사출구멍 길이와 직경의 비(L/D)가 3.4 이상일 때 긴 체류시간과 높은 압력으로 인하여 전분사슬이 분해되어 팽화지수가 감소하였으며 사출구의 L/D는 압력과 양의 상관관계를 갖는다고 보고하였다.

수분흡착지수는 전분과 단백질의 수화를 나타내는 지표로

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

Tel: +82-41-330-1484; Fax: +82-41-335-5944

E-mail: ghryu@kongju.ac.kr

Received November 30, 2010; revised April 25, 2011; accepted April 27, 2011

서 압출성형공정에서는 열과 기계적 에너지 투입량과 함께 증가하다가 감소하는 경향을 나타내며(Mason & Hosney, 1986) 수분용해지수는 전분사슬의 분해 정도를 알 수 있는 척도로 전분의 구조파괴에 의해 발생하는 수용성 물질의 양은 수분용해지수와 양의 상관관계를 가지는데 이러한 결과는 전분사슬이 분해되어 생성되는 결과라고 하였다(Jeong et al., 2002). 또한 시차주사열량계(differential scanning calorimetry)를 이용한 Jin et al.(2008)의 연구결과에서는 인질미의 호화특성을 보았을 때 수분흡착지수와 수분용해지수는 호화도와 밀접한 관계가 있으며 호화도가 증가할수록 수분용해지수는 높은 값을 나타내었고 수분흡착지수는 낮은 값을 나타내었다고 보고하였다.

위와 같이 용융물의 수분함량과 온도, 스크루 회전속도, 원료 투입량과 사출구멍의 길이와 직경의 비(L/D)에 따른 압출성형물의 이화학적 특성에 대한 연구는 다수 발표되었으나 사출구의 기하학적 구조에 따른 이화학적 특성에 대한 연구는 발표되지 않았다. 따라서 본 연구는 사출구의 기하학적 구조를 사출구상수로 산출하여 사출구상수와 수분함량에 따른 팽화율을 비롯한 비기계적 에너지 투입량, 수분용해지수, 수분흡착지수의 변화에 대하여 살펴보았다.

재료 및 방법

재료

옥수수는 호주산으로 (주)동일곡산(Ansan, Korea)에서 분쇄하여 60 mesh를 통과한 가루를 사용하였다. 옥수수가루의 수분함량은 12.26% 였다.

압출성형

실험에 사용된 압출성형기는 실험용 동방향 쌍축 압출성형기(THK31T, Incheon Machinery Co., Incheon, Korea)로 직경은 32.0 mm, 직경과 길이의 비(L/D ratio)는 24:1이었고, 스크루의 배열은 고전단력 스크루를 사용하였으며 수분함량은 펌프를 사용하여 원료사입구에 직접 물을 주입하였다(Fig. 1). 배럴온도는 전열기와 냉각수를 사용하여 조절하

였고 모터용량은 7.5 HP이었다. 압출성형 공정변수는 수분함량(20, 25%)이었으며 용융물의 온도 130°C, 스크루 회전속도 200 rpm, 원료 투입량 120 g/min으로 고정하였다. 제조된 압출성형물은 열풍건조기(DS-FCPO250, DongSeo Sci. Co., Seoul, Korea)에서 80°C로 5시간 건조하여 팽화율을 측정하고, Micro Hammer-cutter Mill(Type 3, Culatti AG Co., Zurich, Switzerland)를 사용하여 0.5 mm로 분쇄하여 시료로 사용하였다.

사출구

사출구 제작한 사출구(Incheon Machinery Co., Incheon, Korea)는 사출구멍 직경을 3 mm로 고정하고 사출구멍 길이를 2, 5, 8 mm으로 하여 각각의 사출구멍의 길이와 직경비(L/D)는 0.67, 1.67, 2.67이었고 내벽에서 좁아지는 각을 57°와 95°로 달리하여 총 6개의 사출구를 제작하였다(Fig. 2).

6개의 사출구의 기하학적 구조는 Miller(1990)의 식을 이용하여 사출구상수(k)를 산출하였다(Fig. 3). 사출구의 구조에 따른 사출구상수는 Table 1과 같으며 사출구상수와 압력의 상관관계를 알아보기 위해서 Rossen & Miller(1973)의 모델(식 1)을 이용하였다.

$$Q = kP/\mu \tag{1}$$

Q: volumetric flow rate (m³/s)

P: operating pressure (Pa)

μ: product viscosity (Pa · s)

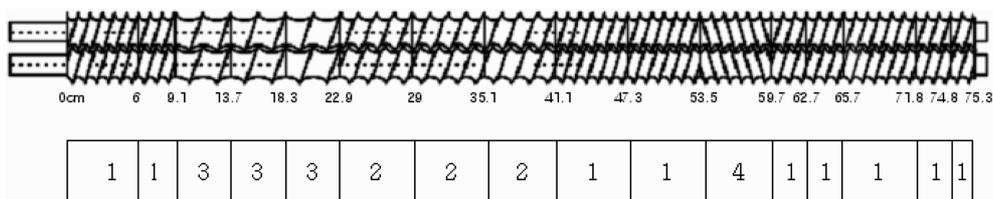
k: the die constant (m³)

사출구상수에 관한 식으로 정리하면 식 (2)와 같다.

$$k = Q\mu/P \tag{2}$$

여기서 동일한 수분함량에서 Q와 μ의 변화가 없다고 가정하면 사출구상수와 압력과의 관계는 음의 상관관계를 나타낸다(식 3).

$$k \propto \frac{1}{P} \tag{3}$$



- | | | |
|--------------------|--------------------------|------------------|
| 1. 1/2 Pitch screw | 3. Forward paddle | L/D ratio : 24:1 |
| 2. 2/3 Pitch screw | 4. Reverse screw element | φ : 3.2 cm |

Fig. 1. Screw configuration for extruding corn flour (Model THK 31T).

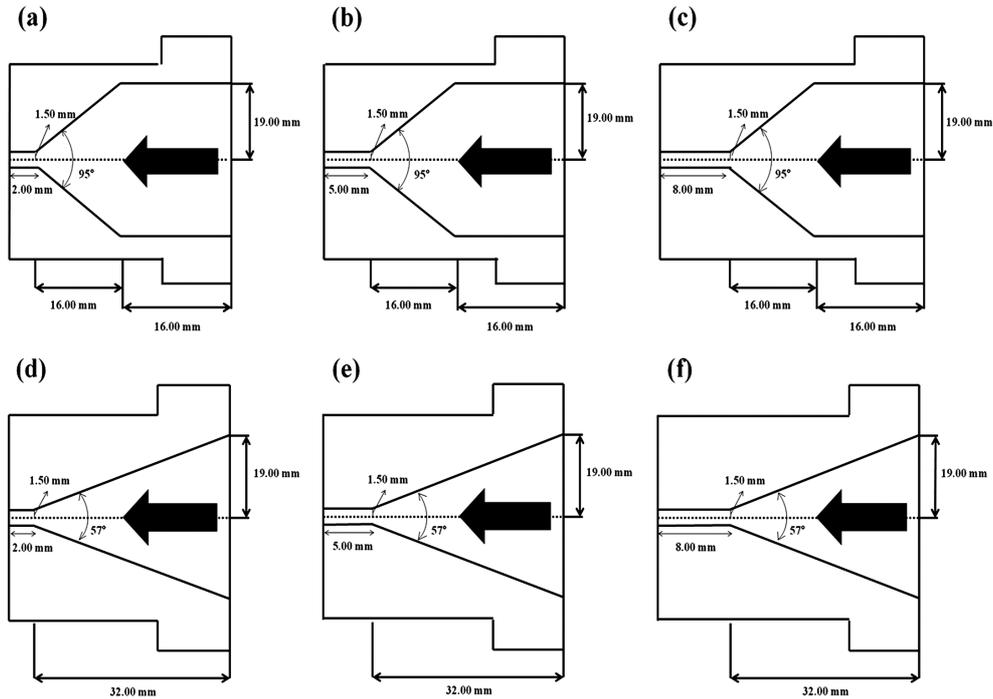


Fig. 2. The various die geometries for extruding corn flour. Top row, at 95° taper angle with L/D of (a) 0.67 (b) 1.67 and (c) 2.67; bottom row, at 57° taper angle with L/D of (d) 0.67 (e) 1.67 and (f) 2.67.

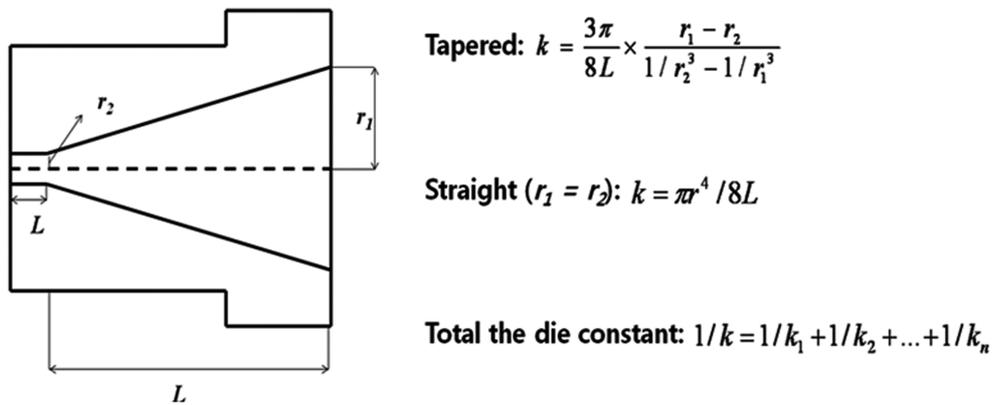


Fig. 3. Die constant for circular die hole geometry.

비기계적 에너지 투입량

비기계적 에너지 투입량은 Ryu & Mulvaney(1997)의 방

Table 1. Die constant at different die geometries

Angle (°)	Land length (mm)	Land length / Land diameter (L/D)	Die constant (m ³)
95	2	0.67	8.09E-10
	5	1.67	3.64E-10
	8	2.67	2.35E-10
57	2	0.67	6.82E-10
	5	1.67	3.36E-10
	8	2.67	2.23E-10

법을 이용하여 압출성형기 내부가 정상상태 일 때 원료의 단위 질량당 소비된 전기에너지로 나타내었다. 즉 원료투입 시의 전력에서 모터 공회전시의 전력을 감소한 실제 원료에 투입된 전력을 구하였다(식 4).

$$SME \text{ input} = \frac{(E - E_0)}{P_R} \tag{4}$$

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)

팽화율

단면팽화지수

압출성형물의 단면팽화지수(cross-sectional expansion index)는 Alvarez-Martinez et al.(1988)의 방법으로 압출성형물을 캘리퍼스(CD-15C, Mitutoyo Co., Kawasaki, Japan)로 직경을 측정하여 사출구의 단면적과 압출성형물의 단면적의 비로 산출하였다(식 5).

$$SEI = \frac{S_e}{S_d} = \frac{(\pi D_e^2/4)}{(\pi D_d^2/4)} = \left[\frac{D_e}{D_d} \right]^2 \quad (5)$$

SEI: cross-sectional expansion index

S_e : cross-sectional area of extrudate (m²)

S_d : cross-sectional area of die (m²)

D_e : diameter of extrudate (m)

D_d : diameter of die (m)

길이팽화지수

압출성형물의 길이팽화지수(longitudinal expansion index)는 Alvarez-Martinez et al.(1988)이 제시한 모델을 이용하여 사출구 내부의 흐름속도와 사출 후 흐름속도의 비로 식 6과 같이 계산하였다.

$$LEI = \left[\frac{\pi D_d^2}{4} \right] L_{se} \rho_d \left[\frac{1 - M_d}{1 - M_e} \right] \quad (6)$$

LEI: longitudinal expansion index

D_d : diameter of die (m)

L_{se} : specific length of extrudate (m/kg)

ρ_d : density of dough (kg/m³)

M_d : dough moisture content

M_e : extrudate moisture content

체적팽화지수

체적팽화지수(volumetric expansion index)는 Alvarez-Martinez et al.(1988)의 방법을 이용하여 단면팽화지수와 길이팽화지수를 곱하여 다음과 같이 산출하였다(식 7).

$$VEI = SEI \times LEI \quad (7)$$

VEI: volumetric expansion index

SEI: sectional expansion index

LEI: longitudinal expansion index

수분흡착지수와 수분용해지수

압출성형물의 수용성 성질을 분석하기 위하여 AACC방법(1983)을 응용하여 건량기준의 시료 1.5 g에 증류수 30 mL을 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 rpm (1,500×g)

으로 20분간 원심 분리하였다. 상등액을 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 수분흡착지수(water absorption index)와 수분용해지수(water solubility index)를 각각 식(8)와 식(9)로 계산하였다.

$$WAI(g/g) = \frac{\text{Hydrated sample wt.} - \text{Dry sample wt.}}{\text{Dry sample wt.}} \quad (8)$$

$$WSI(\%) = \frac{\text{Dry solid wt. recovered by evaporating the supernatant}}{\text{Dry sample wt.}} \times 100 \quad (9)$$

결과 및 고찰

비기계적 에너지 투입량

압출성형공정에서 비기계적 에너지 투입량은 중요한 시스템변수로서 전분의 호화, 전분사슬의 절단, 체류시간에 영향을 미친다. 동방향 쌍축 압출성형기에서 비기계적 에너지 투입량은 약 200-1000 kJ/kg의 에너지를 소모하며 비기계적 에너지와 열에너지 투입량의 비는 4:1로 비기계적 에너지 투입량은 큰 비중을 차지한다(Senouci & Smith, 1986; Tayeb et al., 1992).

비기계적 에너지 투입량은 사출구상수가 6.82E-10 m³(L/D 0.67), 수분함량 25%일 때 199.59 kJ/kg으로 가장 낮은 값을 나타내었으며, 사출구상수 2.23E-10 m³(L/D 2.67), 수분함량 20%에서 552.24 kJ/kg으로 가장 높은 비기계적 에너지 투입량을 나타내었다(Fig. 4). 사출구상수 2.23E-10 m³(L/D 2.67)은 6개의 사출구상수 중 가장 낮은 값이며 L/D 값은 2.67로 가장 크다.

사출구상수는 압력과 음의 상관관계이므로(식 3), 이 때 비기계적 에너지 투입량을 비롯한 압력이 가장 높을 것으로 판단된다. 이는 옥수수전분을 압출성형 했을 때 사출구멍의

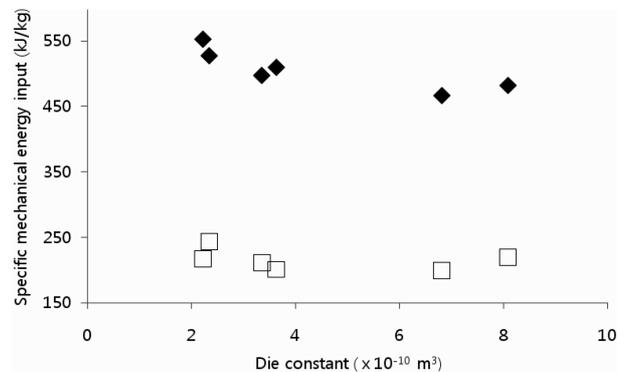


Fig. 4. Effects of die constant on specific mechanical energy input at different moisture content. ◆, extrusion condition at 20% moisture content; □, extrusion condition at 25% moisture content.

길이와 직경의 비(L/D) 값이 증가할 때 압력이 증가했다는 Chinnaswamy & Hanna(1987)의 결과와 일치하며 밀가루와 옥수수가루를 이용한 압출성형공정에서 비기계적 에너지 투입량이 증가할 때 압력이 증가했다는 Ryu & Ng(2001)의 보고와 유사한 결과였다.

수분함량 20%에서는 사출구상수가 증가함에 따라 비기계적 에너지 투입량이 감소하는 경향을 보였지만 25%에서는 사출구상수에 따른 변화는 없었다. 또한 수분함량 20%는 수분함량 25%와 동일한 사출구상수에서 비기계적 에너지 투입량이 높았는데, 이는 수분함량이 감소함에 따라 점도가 증가하여 비기계적 에너지 투입량이 증가한 것으로 사료된다. Ryu & Ng(2001)는 수분주입량은 압출성형공정에서 중요한 독립변수로 수분주입량 감소할 때 비기계적 에너지 투입량은 증가한다고 보고했다. 또한 Majzooobi & Farahnaky (2010)은 밀, 옥수수, 쌀가루를 압출성형하였을 때 수분주입량이 감소할수록 비기계적 에너지 투입량이 증가하였다고 하였는데 이는 본 연구결과와 일치하였다.

팽화율

압출성형물의 팽화는 보통 직경팽화지수, 길이팽화지수 두 가지의 기준에 의해 측정되며 사출구의 구조는 직경팽화지수와 길이팽화지수에 영향을 미친다고 보고하였다 (Alvarez-Martinez et al., 1988; Bouzaza et al., 1996).

사출구상수와 수분함량이 팽화특성(직경팽화지수, 길이팽화지수, 체적팽화지수)에 미치는 영향을 Figs. 5, 6, 8에 각각 나타내었다. 직경팽화지수에서 사출구상수가 증가하면 20%의 수분함량에서는 직경팽화지수 값이 증가하는 경향을 나타내었다. 내벽이 좁아지는 각이 57°인 사출구에서 L/D 값이 0.67, 1.67, 2.67일 때 직경팽화지수는 각각 10.48, 12.61, 15.00으로 사출구 내벽 각이 95°인 8.99, 9.75, 12.45 보다 높은 직경팽화지수를 나타내었다. 반면에 25% 수분함량에서는 직경팽화지수에 대한 사출구상수의 영향은 없었다

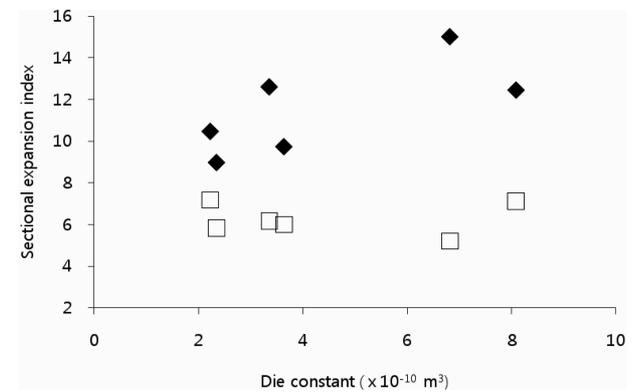


Fig. 5. Effects of die constant on sectional expansion index at different moisture content. ◆, extrusion condition at 20% moisture content; □, extrusion condition at 25% moisture content.

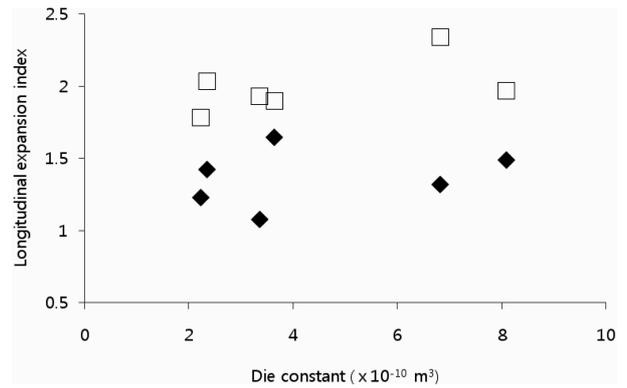


Fig. 6. Effects of die constant on longitudinal expansion index at different moisture content. ◆, extrusion condition at 20% moisture content; □, extrusion condition at 25% moisture content.

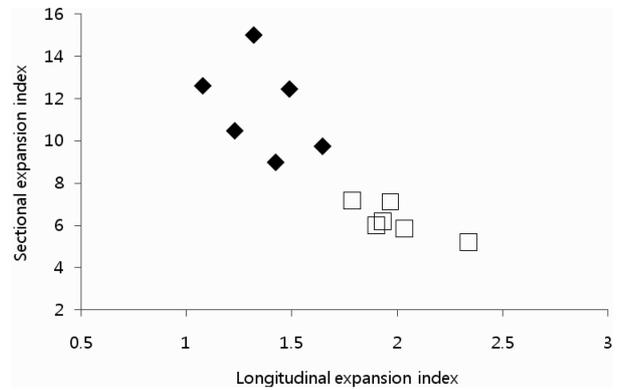


Fig. 7. Relationship between sectional and longitudinal expansion index at different moisture content. ◆, extrusion condition at 20% moisture content; □, extrusion condition at 25% moisture content.

(Fig. 5). 수분함량이 25%에서 20%로 감소할 때 직경팽화지수는 증가하였는데 이는 수분함량이 25%에서 용융물의 점도가 낮아 압출성형물 내부의 기공의 붕괴와 수축율이 증가하여 직경팽화지수가 감소한 것으로 판단된다(Ryu & Ng, 2001). 또한 수분함량과 비교하여 사출구상수는 직경팽화지수에 크게 영향을 미치지 않은 것으로 사료된다.

사출구상수가 길이팽화지수에 미치는 영향은 직경팽화지수보다 낮았다. 사출구상수가 증가할수록 길이팽화지수가 증가하는 경향을 나타내었으며 수분함량이 20%에서 25%로 증가하면서 길이팽화지수의 값이 증가하였다(Fig. 6). 이는 수분함량이 증가하면서 점도가 낮아져 사출구를 통과 할 때 평균유속이 증가하여 길이팽화지수가 증가한 것으로 사료된다(Alvarez-Martinez et al., 1988).

직경팽화지수와 길이팽화지수의 상관관계를 Fig. 7에 나타내었다. 직경팽화지수가 증가하면 길이팽화지수는 감소하는 음의 상관관계의 경향을 가졌으며 이는 Bouzaza et al. (1996)가 밀가루를 원료로 한 압출성형물의 직경팽화지수와

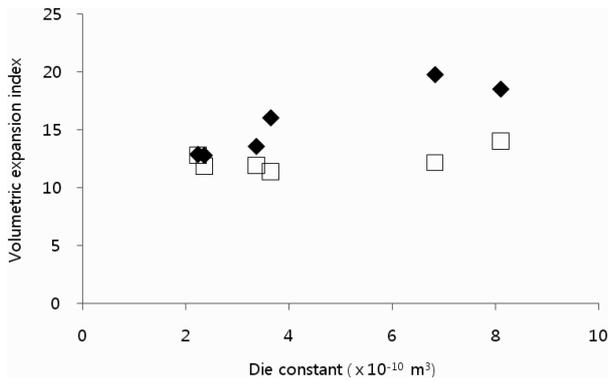


Fig. 8. Effects of die constant on volumetric expansion index at different moisture contents. ◆, extrusion condition at 20% moisture content; □, extrusion condition at 25% moisture content.

길이팽화지수의 상관관계와 동일한 결과를 나타내었다.

수분함량 20%의 압출성형조건에서 사출구상수가 증가하면 체적팽화지수는 증가하였으나 25%에서는 큰 변화가 없었다(Fig. 8).

수분흡착지수와 수분용해지수

사출구상수와 수분함량에 따른 수분흡착지수(water absorption index)와 수분용해지수(water solubility index)는 Table 2에 나타내었다. 사출구상수의 변화에 따른 수분흡착지수와 수분용해지수의 큰 차이는 없었으나 수분함량이 20%에서 25%로 증가할 때 수분흡착지수는 증가하는 경향을 나타냈었지만 수분용해지수는 감소하였다. 이는 Han et al.(2008)이 백삼의 압출성형공정에서 수분함량 30%에서 20% 감소할 때 수분용해지수는 증가하였고, 수분흡착지수는 감소하였다는 연구결과와 일치하였다. 이는 배럴 내부의

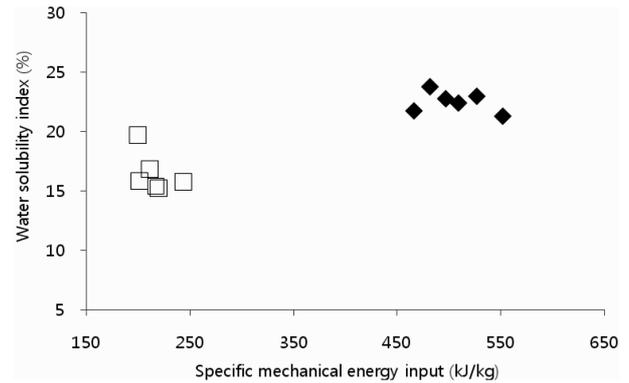


Fig. 9. Effects of specific mechanical energy on water solubility index at different moisture contents. ◆, extrusion condition at 20% moisture content; □, extrusion condition at 25% moisture content.

수분함량이 낮을 경우 점도가 높아져 체류시간이 길어지고 강한 전단력을 받아 전분의 사슬이 절단되어 수분용해지수가 증가된 것으로 사료된다.

Ryu & Mulvaney(1997)는 전분의 압출성형공정에서 수분흡착지수와 수분용해지수는 비기계적 에너지 투입량과 관계가 있다고 하였으며 Ryu(1995)의 보고에 의하면 일반적으로 압출성형 공정에 의해 생산된 팽화물의 수분용해지수는 비기계적 에너지 투입량의 증가와 함께 증가한다고 하였다. Fig. 9은 비기계적 에너지 투입량이 수분용해지수에 미치는 영향을 나타내는 결과로 비기계적 에너지 투입량이 높을 때 수분용해지수가 높은 경향을 나타냈다.

결론적으로 수분흡착지수와 수분용해지수는 사출구상수의 영향보다 비 기계적 에너지 투입량과 관계가 깊은 것으로 사료된다.

요 약

사출구 구조가 압출성형의 목적변수인 팽화특성에 영향을 미치는지 알아보기 위하여 사출구의 기하학적 구조를 사출구상수로 산출하여 사출구상수와 수분함량에 따른 팽화특성을 비롯한 비기계적 에너지 투입량, 수분용해지수, 수분흡착지수를 분석하였다. 압출성형 공정변수는 수분함량(20, 25%), 사출구멍의 길이와 직경비(L/D 0.67, 1.67, 2.67), 내벽에서 좁아지는 각(57, 95°)이었다. 비기계적 에너지 투입량은 수분함량 20%, 사출구상수 2.23E-10 m³에서 가장 높은 값을 나타내었다. 수분함량 20%에서 사출구상수가 증가하면, 직경팽화지수와 체적팽화지수는 증가하였다. 한편 수분함량 25%에서 직경팽화지수와 체적팽화지수는 사출구상수의 영향을 받지 않았다. 또한 길이팽화지수는 수분함량이 20%에서 25%로 증가할 때 증가하였으며 직경팽화지수와 음의 상관관계를 나타내었다. 수분흡착지수와 수분용해지수는 사출구상수에 영향을 받지 않았다.

Table 2. Effects of die constant and extrusion condition on water solubility and water absorption index

Moisture content (%)	Die constant (m ³)	Water solubility index (%)	Water absorption index (g/g)
20	8.09E-10	23.75 ± 1.44	5.93 ± 0.17
	3.64E-10	22.38 ± 2.38	5.44 ± 0.32
	2.35E-10	22.95 ± 0.34	5.38 ± 0.10
	8.09E-10	15.20 ± 0.70	6.53 ± 0.15
25	3.64E-10	15.80 ± 0.23	6.10 ± 0.10
	2.35E-10	15.77 ± 0.38	6.16 ± 0.13
	6.82E-10	21.72 ± 3.62	5.53 ± 0.66
20	3.36E-10	22.74 ± 0.91	5.77 ± 0.06
	2.23E-10	21.27 ± 0.83	5.27 ± 0.21
	6.82E-10	19.68 ± 0.26	6.71 ± 0.12
25	3.36E-10	16.82 ± 0.11	6.47 ± 0.12
	2.23E-10	15.39 ± 1.04	5.96 ± 0.27

참고문헌

- AACC. 1983. Approved Method of the AACC(10th ed). Method 56-20. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA.
- Alvarez-Martinez, Kondury KP, Harper JM. 1988. A general model for expansion of extruded products. *J. Food Sci.* 53: 609-615.
- Baladran-Quintana RR, Barbosa-Canovas GV, Zazueta-Morales JJ, Anzaldúa-Morales A, Quintero-Ramos A. 1998. Functional and nutritional properties of extruded whole pinto bean meal (*Phaseolus vulgaris* L.). *J. Food Sci.* 63: 113-116.
- Bouzaza D, Arhaliass A, Bouvier JM. 1996. Die design and dough expansion in low moisture extrusion-cooking process. *J. Food. Eng.* 29: 139-152.
- Chaing BY, Johnson JA. 1977. Gelatinization of starch in extruded products. *Cereal Chem.* 54: 436-443.
- Chinnaswamy R, Hanna MA. 1987. Nozzle dimension effects on the expansion of extrusion cooked corn starch. *J. Food Sci.* 52: 1746-1747.
- Chinnaswamy R, Hanna MA. 1988. Optimum extrusion-cooking conditions for maximum expansion of corn starch. *J. Food Sci.* 53: 834-840.
- Han JY, Lee YS, Ryu GH. 2008. Studies on characteristics of physicochemical properties and saccharification of extruded white ginseng. *Food. Eng. Prog.* 12: 36-43.
- Harper JM. 1981. Extrusion of starches and starchy materials. In: *Extrusion of Foods*. Vol. II. CRC Press, Inc., Boca Raton, FL, USA, pp. 41-60.
- Harper JM. 1986. Extrusion texturization of foods. *Food Technol.* 40: 70-76.
- 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.
- Jin T, Kim MH, Ryu HJ, Lee KH, Han MS, Cho SS, Lee HK, Ryu GH. 2008. Quality characteristics of rice cake(injulmi) made with traditional process and instant injulmi machine and different steeping time. *Food. Eng. Prog.* 12: 97-106.
- Majzoobi M, Farahnaky A. 2010. Comparison of the effects of extrusion cooking on some cereal starches. *Int. J. Food. Eng.* 6: 1456-1471.
- Mason WR, Hoseney RC. 1986. Factors affection the viscosity of extrusion-cooked wheat starch. *Cereal Chem.* 63: 436-441.
- Miller RC. 1990. Unit operations and equipment. IV. Extrusion and extruders. In: *Breakfast Cereals and How They Are Made*. Fast RB, Caldwell EF (eds). American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, MN, USA, pp. 135-193.
- Padmanabhan M, Bhattacharya M. 1989. Analysis of pressure drop in extruder dies. *J. Food Sci.* 54: 709-713.
- Rossen JL, Miller RC. 1973. Food extrusion. *Food Technol.* 27: 46-53.
- Ryu GH. 1995. Extrusion process with gas injection. *Food Sci. Ind.* 28: 30-38.
- 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.
- Ryu GH, Ng PKW. 2001. Effects of selected process parameters on expansion and mechanical properties of wheat flour and whole cornmeal extrudates. *Starch-Starke* 53: 147-154.
- Senouci A, Smith AC. 1986. The extrusion cooking of potato starch material. *Starch-Starke* 38: 78-82.
- Tayeb J, Valle GD, Barres C, Vergnes B. 1992. Simulation of transport phenomena in twin-screw extruders. In: *Food Extrusion Science and Technology*. Kokini JL, Ho CT, Karwe MV (eds). Marcel Dekker, Inc., New York, NY, USA. pp. 41-70.