

이축 압출 성형기를 이용한 타타리메밀의 압출성형에 대한 연구

이지훈 · 김동은 · 박철호 · 강위수^{1,*}

강원대학교 생물산업공학전공, ¹강원대학교 생명공학부

Extrusion-cooking of Tartary Buckwheat(*Fagopyrum tataricum* Flour) Using A Twin-screw Extruder

Ji-Hoon Lee, Dong-Eun Kim, Cheol-Ho Park, and Wie-Soo Kang^{1,*}

Division of Biological System Engineering, Kangwon National University

¹Division of Biotechnology, Kangwon National University

Abstract

The operational conditions of a twin-screw extruder were optimized for the extrusion of a Tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum*) flour to impart the additional water solubilities into the products. The extrudates were then analyzed using a Response Surface Analysis to extract correlation between the system variables such as specific mechanical energy (SME) and extrusion pressure of the extruder and some physical characteristics of the products including bulk density and water solubility index (WSI) value of the extrudates as influenced by barrel temperature (120, 150, 180°C) and moisture content (20~30%) of the feeds. Whereas effects of shear rates in the system as governed by screw configurations (type I~IV) were further evaluated in relation to the quality characteristics of the extrudates. Decreases in SME value and extrusion pressure of the system along with bulk density of the extrudates were observed with increase of the barrel temperature, while WSI value of the extrudate increased. However, the higher SME value and extrusion pressure of the system accompanied by WSI of the product were observed as moisture content of the feed has decreased although density of the extrudate was the exception. Adoption of the screw configurations that is designed to give higher shear rate resulted in the decrease of extrusion pressure and density of the products although SME of the system and WSI of the extrudates tended to increase. Purposed extrusion of the Tartary buckwheat (*F. tataricum*) with barrel temperature at 180 and feed moisture content of 20% could raise WSI value of the product up to 24.3% as compared to that of 2.5% in raw buckwheat flour. Furthermore, when screw configuration of KD/LH (kneading disc/left handed rotating) with type IV layout that gives the highest shear rate in this system was introduced, WSI value of the extrudate has increased again up to 33.8%.

Keywords: Tartary buckwheat flour, twin-screw extruder, screw configurations, water solubility index

서론

최근에 메밀의 기능성 생리활성 물질이 밝혀지면서 건강식품으로 새롭게 인식됨에 따라 메밀의 이용이 증대되고 있다(Park et al., 1999). 메밀은 식물 분류학적으로 단메밀과 타타리메밀로 나누어지며, 단메밀과 타타리메밀의 일반 성분은 각각 탄수화물 72.84%, 73.53~73.74%, 조단백질 10.10%, 9.24~9.25%, 조지방 1.26%, 1.34~1.12%, 회분 1.80%, 1.89%로 원료간에 차이가 없다(Kim & Kim, 2005). 타타리메밀은 예로부터 한방약, 건강식품으로서 이용되어 왔으나 껍데기의 비율이 높고, 탈립성이 강하며 쓴맛

을 지니고 있어 일반적인 식품에 많이 이용이 되지 않는으나 항산화 효과, 항당뇨 활성, 혈압강화작용을 가지고 있는 루틴(rutin)이라는 flavonoid를 단메밀에 비해 22배 이상 함유하고 있다는 것이 밝혀지면서 건강기능식품소재로서의 효용가치가 인정되고 있다(Kang et al., 2003). 타타리메밀에는 껍질에도 다량의 루틴이 함유되어 있어 이를 활용할 수 있는 방안으로 강한 결합조직을 효율적으로 깨뜨릴 수 있는 공정의 개발이 필수적이나 이에 대한 연구는 미흡한 실정이다(Park et al., 2005). 타타리메밀의 전분을 호화시키면서 고유한 영양성분을 보존 하는 동시에 친수성을 향상시킬 수 있는 가공기술이 개발되어야 한다.

압출성형공정은 단일공정으로 단시간동안 압출성형기 내부에서 분쇄, 가열, 살균, 반응, 팽화 등의 단위조작을 연속적으로 수행할 수 있으며, 단시간 동안의 고온·고압처리 및 스크류의 고속회전에 의해서 발생하는 강한 전단력은 식물 세포벽을 파괴할 수 있을 정도로 강력하여 수용성 식

Corresponding author: Wie-Soo Kang, Professor, Division of Biotechnology, Kangwon National University, Chuncheon-si, Gangwon-do 200-701, Republic of Korea
Tel: 033-250-6494; Fax:
E-mail: kangwiso@kangwon.ac.kr

이섬유의 함량을 증가시킬 수 있다(Kang et al., 2005).

압출성형을 이용하여 효율적인 가공제품을 생산하는데 있어서 압출성형 공정변수(바렐온도, 원료수분함량 스크루의 형상 및 배열 등)들이 최종제품의 특성을 좌우하기 때문에 이러한 변수들의 영향을 예측하는 것은 대단히 중요하다. 바렐온도와 원료수분함량과 같은 압출성형 공정변수는 임계조건이 존재하며 변수 간의 복합적인 상호작용은 제품의 특성에 크게 영향을 미치므로 품질관리 및 압출성형공정을 최적화시키는 일이 매우 중요하다(Kang, 2004).

압출성형시 스크루의 형상 및 배열은 원재료의 함유수분이나 내부열 발생, 바렐 내부의 압력 및 물질의 흐름과 깊은 상관관계를 가지고 있다. 스크루는 운반스크루(conveying screw)와 반죽스크루(kneading disk/KD)로 구분되며 형태(pitch, paddle)와 방향(right handed rotating, left handed rotating), 각도(angle)에 따라 이송, 반죽, 혼합, 충전 등의 기능을 발휘하게 된다. 이중 반죽스크루는 편심원을 갖는 일정 두께의 원판(paddle)을 각도별(30, 45, 60, 90°)로 형성한 것으로, 원판과 바렐 벽면 사이에서 발생하는 전단력을 통해 강력한 반죽 및 파쇄효과를 얻을 수 있다. 또한 원판이 이루는 각을 변화시켜 목적에 맞는 혼합, 분산력의 조합을 구성할 수 있다(Binoy et al., 1996).

반죽스크루 중에서 역방향 반죽스크루는 혼합도와 전단력이 제일 강력하며 역방향으로 진행하기 때문에 체류시간을 연장시킬 수 있다. 역방향 반죽스크루의 개수를 증가시키면 전단력과 분산력, 체류시간 등이 증가하며 세포벽의 조직을 붕괴시켜서 불용성 섬유를 용해도를 증가시킬 수 있다. 다른 공정들과는 다르게 압출성형에서 나타나는 층밀림 현상은 식물세포벽의 파괴를 가져와 수용성 식이섬유의 양을 증가시키고 동시에 세포벽 내부에 존재하는 생리활성물질의 용출률을 증가시킨다는 연구결과가 보고되어져 있다(Kang, 2007).

본 연구에서는 타타리메밀의 수용성을 향상시키기 위하여 타타리메밀 압출물을 생산하는 압출기의 시스템 변수와 압출물 특성 변화를 관찰하는데 목적을 두고 있다. 타타리메밀의 압출성형 공정에 의한 가공 중 첫째, 공정변수(바렐온도, 원료수분함량)의 변화에 따른 시스템변수(압출압력, 비기계적 에너지 투입량)의 변화와 이에 따른 압출물 특성(겉보기밀도, 수분용해지수)의 상관관계를 반응표면 분석하여 최적의 압출성형조건을 선택한 후; 둘째, 스크루 배열 (반죽스크루)의 변화에 따른 시스템 변수(압출압력, 비기계적 에너지 투입량)의 변화와 이에 따른 압출물 특성(겉보기 밀도, 수분용해지수, 미세구조 관찰)의 변화를 관찰하여 보고자 한다.

재료 및 방법

재료

타타리메밀을 압출성형하기 위하여 원재료를 pinmill 분

쇄기(JIC-P10, Jeil co., Seoul, Korea)를 이용하여 50 mesh screen으로 분쇄 후 압출성형 실험에 사용하였다. 분쇄한 원료의 함수율은 10.54±0.87 w.b.%이며 열풍 건조기를 이용하여 105°C의 온도조건에서 2시간 동안 건조하여 측정하였으며 습량기준 함수율로 계산하였다. 분쇄한 타타리메밀 분말은 원재료에 각각 20%, 25%, 30%의 비율로 가수한 후 믹서기(super mixer, Hankook E.M Ltd., Gyeonggi-do, Korea)를 이용하여 500 rpm에서 30분간 혼합 후 폴리에틸렌백에 밀봉 후 4°C 조건에서 24시간 보관 후 압출성형 재료로 사용하였다.

압출성형공정

본 실험에서 사용한 압출성형기는 동방향 완전 맞물림형 이중 압출 성형기(co-rotating intermeshing type twin-screw extruder, Hankook E.M Ltd., Gyeonggi-do, Korea)로서 barrel은 총 8개의 단위 section이 연결된 형태로 구성되어 있으며, L/D의 비가 32 : 1이고 스크루 직경은 32 mm이며 압출기의 생산량은 20~30 kg/hr이다. 다이는 지름 4 mm, L/D 7인 원형타입을 사용하였다.

실험설계

압출성형기술을 이용하여 타타리메밀의 수용성을 증가시키기 위해 두 단계에 걸친 압출성형 실험을 하였다. 첫째, Fig. 1과 같이 운반 스크루(type I)만 배열한 조건에서 바렐온도(120, 150, 180)와 원료수분함량(20, 25, 30%)의 변화에 따른 시스템 변수와 압출물 특성의 상관 관계를 반응표면 분석하여 최적의 압출성형 조건을 선택한 후; 둘째, 첫 번째 압출성형 실험에서 얻은 최적의 압출성형 조건하에서 바렐 3번 구역에서 7번 구역의 다이 출구 방향으로 정방향 및 역방향 반죽 스크루의 개수를 증가시킨 3가지 스크루 배열 조건(type II, III, IV)으로 실험하였다(Fig. 1). 두 가지 실험 조건에서 스크루 회전속도는 300 rpm으로 고정하였다. 두 가지 조건에서 제조된 압출성형물은 60°C의 열풍 조건으로 수분함량이 10% 이하가 되도록 건조 후 데시케이터에 보관하였다.

비기계적 에너지 투입량(specific mechanical energy, SME) 측정

비기계적에너지투입량은 원료가 투입되어 압출성형기를 통과할 때 원료의 단위 질량당 소비된 전기에너지로서 원료 투입 시 소모되는 전력에서 모터 공회전 시의 전력을 빼면 실제 원료에 투입된 전력이 되며, 이를 생산량으로 나누어 계산하며 계산식은 Ryu & Mulvaney(1997)가 사용한 방법을 이용하였다.

압출압력(die pressure) 측정

운전 중의 압출압력은 5분 이상 압출성형 후 압력이 안

정된 상태에서 계측장비(Dewebook, Dewetron, Germany)를 이용하여 1분간 다이에서 측정 후 평균값을 구하였다.

겉보기 밀도(bulk density) 측정

겉보기 밀도는 압출성형된 10개의 시료를 15 mm로 절단하여 부피를 측정(압출물의 지름 및 길이는 전자식 버니어 캘리퍼스로 측정)한 후 질량을 측정하여, 각 압출성형물의 질량에 대한 부피를 나누어 계산하였으며 그 평균값을 구하였다(Ding et al., 2004).

수분용해지수(water solubility index, WSI) 측정

수분용해지수는 Anderson et al.(1969)의 방법에 의하여 측정되었다. 타타리메밀 압출성형물을 분쇄하여 250의 체를 통과시킨 시료 1 g과 증류수 20 ml를 45 ml의 원심분리 튜브에 투입하여 상온에서 30분간 교반시킨 후, 원심분리기(mega17r Hanil, Incheon, Korea)를 이용하여 2000 xg에서 10분간 원심 분리하였다. 상등액을 분리하고 건조시킨 고형분 무게를 압출성형물 시료의 무게로 나눈 백분율을 수분용해지수(WSI)로 표시하였다.

반응 표면 분석(response surface analysis)

타타리메밀 압출성형물 성형시 측정된 바렐 온도와 원료 수분함량의 변화에 따른 시스템 변수(비기계적 에너지 투입량 및 압출압력)와 압출물 특성(겉보기 밀도 및 WSI)의 상관 관계를 반응 표면 분석하였고, 이를 SAS(Statistical Analysis Systems Institute, Release 9.1, Cary, NC, USA) 프로그램을 이용하여 통계 처리하였다.

반응 표면 분석은 여러 개의 독립변수가 교호작용을 함

으로서 종속 변수에 영향을 주고 있을 때, 이러한 반응의 변화가 이루는 반응 표면에 대한 통계적인 모형을 만들어 분석하는 법을 말하며, 모델식은 아래와 같은 2차 회귀모형을 적용하였다. 또한 공정변수의 조건이 시스템변수 및 압출물 특성에 미치는 영향을 예측된 모델식을 바탕으로 반응 표면 곡선으로 나타내었다(Sung, 2000).

$$Y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_{11}x_{12} + \beta_{22}x_{22} + \beta_{12}x_1x_2$$

여기서, Y는 시스템변수와 압출물 특성, β는 상수, x는 공정변수를 나타낸다.

결과 및 고찰

압출성형 공정변수

압출성형시 바렐온도(120, 150, 180°C), 원료수분함량(20, 25, 30%)의 변화에 따른 비기계적 에너지 투입량, 압출압력, 압출물 겉보기밀도 및 수분용해지수의 값을 Table 2에 나타내었으며 압출성형효과를 Table 1의 결과를 바탕으로 반응표면 분석하여 회기 식으로 Table 2에 나타내었다.

압출성형공정 비기계적 에너지 투입량 및 압출압력 변화

압출성형시 바렐온도(120, 150, 180°C), 원료수분함량(20, 25, 30%)의 공정변수가 비기계적 에너지 투입량과 압출압력에 미치는 영향을 반응표면 분석한 결과 비기계적 에너지 투입량의 결정계수(R²)는 0.99, 압출압력의 결정계수(R²)는 0.98로 높은 상관관계를 보여 반응 모형에 적합하였다. 각 상기 조건별 비기계적 에너지 투입량과 압출압력의 전체 모형에 대한 유의확률(Prob.>F) 값은 각각 0.0025와

Table 1. Experimental values of system variables and Tartary buckwheat extrudates according to the changes of die temperature and feed moisture content

Screw configuration	Temperature (°C)	FM ¹⁾ (%)	SME ²⁾ (Wh/kg)	DP ³⁾ (MPa)	BD ⁴⁾ (g/cm ³)	WSI ⁵⁾ (%)
Type I*	120	20	61.21±0.84	6.98±0.22	0.51±0.051	10.41±0.56
		25	45.91±0.90	5.51±0.34	0.63±0.035	9.46±0.35
		30	34.67±0.49	4.23±0.56	0.68±0.049	9.00±0.35
	150	20	41.07±0.41	6.71±0.36	0.39±0.034	15.70±0.51
		25	31.94±0.55	4.42±0.47	0.59±0.059	13.21±0.45
		30	26.61±0.32	3.71±0.25	0.64±0.038	12.18±0.76
	180	20	37.20±0.31	6.45±0.18	0.31±0.025	24.31±0.62
		25	30.49±0.64	4.12±0.61	0.54±0.042	17.23±0.43
		30	25.36±0.51	3.62±0.44	0.56±0.035	13.92±0.54

For reference, WSI of Raw material(without extrusion) was measured as 2.54±0.12%.

¹⁾Feed moisture

²⁾Specific mechanical energy

³⁾Die pressure

⁴⁾Bulk density

⁵⁾Water solubility index

*Indicates the screw configuration of each type exhibited in Figure 1.

Table 2. Coefficients of regression equations for response surface of specific mechanical energy, die pressure, bulk density and water solubility index on the process parameters

Extrusion variables	SME ¹⁾ (Wh/kg)	DP ²⁾ (MPa)	BD ³⁾ (g/cm ³)	WSI ⁴⁾ (%)
Constant	396.306	340.598	-0.9820	-15.714
X ₁ ⁵⁾	-2.861*	-0.753	-0.005	0.3636
X ₂ ⁶⁾	-8.596*	-15.369*	0.1468*	-0.26
X ₁ ²	0.007*	0.002	-0.000004	0.0005
X ₁ X ₂	0.025*	-0.002	0.0002	-0.015*
X ₂ ²	0.063	0.2553	-0.003*	0.0399
Prob.>F	0.0025	0.0112	0.0086	0.0055
R ²	0.99	0.98	0.98	0.99

*p=0.05
¹⁾Specific mechanical energy
²⁾Die pressure
³⁾Bulk density
⁴⁾Water solubility index
⁵⁾Temperature (°C)
⁶⁾Moisture contents (%)

0.0112로 높은 유의성을 나타내었다.

압출성형 조건인 바렐온도, 원료수분함량을 변화시켰을 때 비기계적 에너지투입량과 압출압력에 대한 이차 모형을 회귀식으로 나타내었다. Table 2에서 비기계적 에너지 투입량은 X₁, X₂, X₁², X₁X₂ 항이 5%이내의 유의성을 보이며 압출압력은 X₂항에서 5%이내의 유의성을 보였다.

바렐온도 및 원료수분함량 변화에 따른 비기계적 에너지 투입량과 압출압력의 변화를 반응표면곡선으로 Fig. 2, 3에 나타내었다.

비기계적 에너지 투입량과 압출압력은 바렐온도와 원료수분함량의 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였으며, 압출압력은 원료수분함량, 비기계적 에너지는 바렐온도에 의

해 영향을 많이 받았다. 원료수분함량이 20%인 경우 바렐온도를 120→180°C로 증가시키면 비기계적 에너지 투입량은 61.21→37.20 Wh/kg, 압출압력은 6.98→6.45 MPa로 감소하였으며, 바렐온도가 180인 경우 원료수분함량을 2030%로 증가시키면 비기계적 에너지 투입량은 37.20→25.36 Wh/kg, 압출압력은 6.45→3.62 MPa로 감소하였다. 바렐 온도가 120, 원료수분함량이 20%인 경우 비기계적 에너지투입량이 61.21 Wh/kg, 압출압력이 6.98 MPa로 최대치를 나타냈다.

바렐온도 및 원료수분함량의 증가는 전분의 호화를 증가시키며, 바렐 내부의 압출물의 점성을 감소시켜 바렐 내부의 물질 유동성을 증가시킨다고 보고 하였다. 따라서 유동성의 증가로 인하여 바렐 내부의 충전율이 감소함에 따라 비기계적 에너지와 압출압력이 감소된 것으로 사료된다 (Frame, 1999.)

압출성형물의 겉보기밀도 및 수분용해지수 변화

바렐온도(120, 150, 180°C)와 원료수분함량(20, 25, 30%)가 압출물의 겉보기밀도와 수분용해지수에 미치는 영향을 반응표면 분석한 결과 겉보기밀도의 결정계수(R²)는 0.98, 수분용해지수의 결정계수(R²)는 역시 0.98로 높은 상관관계를 보여 반응 모형에 적합하며 전체 모형에 대한 유의확률 (Prob>F)은 겉보기밀도 0.0086, 수분용해지수 0.0055가 나와 통계적으로 유의하였다.

압출성형 조건인 바렐온도, 원료수분함량 변화 시 겉보기밀도와 수분용해지수에 대한 이차 모형을 회귀식으로 나타내었다. Table 2에서 겉보기밀도는 X₂, X₂²항에서 5%이내의 유의성을 보였으며, 수분용해지수는 X₁X₂ 항이 5%이내의 유의성을 보였다.

바렐온도 및 원료수분함량 변화에 따른 압출물의 겉보기밀도와 수분용해지수의 변화를 반응표면곡선으로 Fig. 4, 5

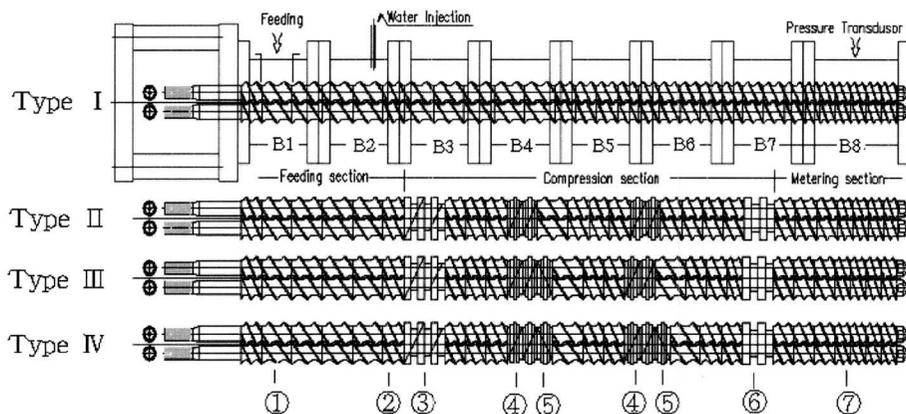


Fig. 1. Layout of twin screw extruder barrel sections and 4 different screw configurations.
 ① Conveying screw (32/48), ② Conveying screw (32/33), ③ Kneading disk 30° (right handed; 32/33), ④ Kneading disk 45° (right handed; 32/24), ⑤ Kneading disk 45° (left handed; 32/24), ⑥ Kneading disk 90° (right handed; 32/24), ⑦ Conveying screw (32/24), A/B : A = screw diameter, B = length

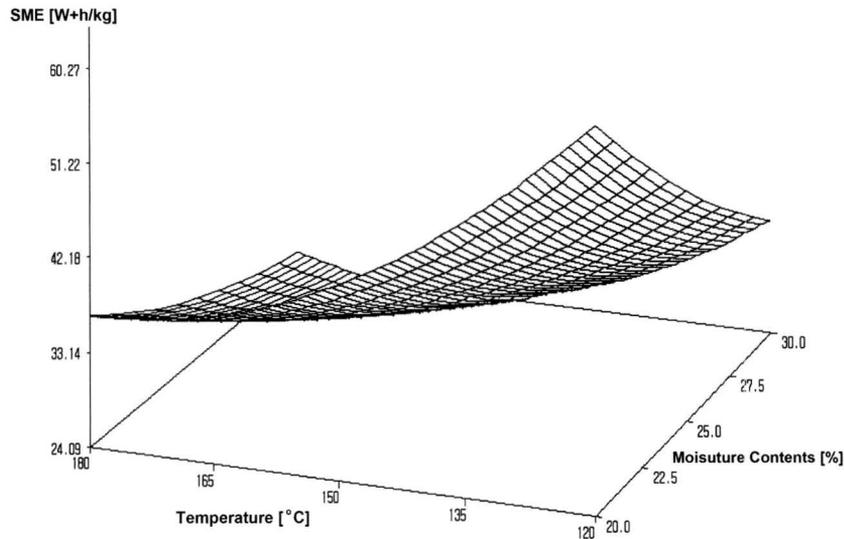


Fig. 2. Response surface plots exhibiting the effects of die temperature and feed moisture on specific mechanical energy of the extrusion system.

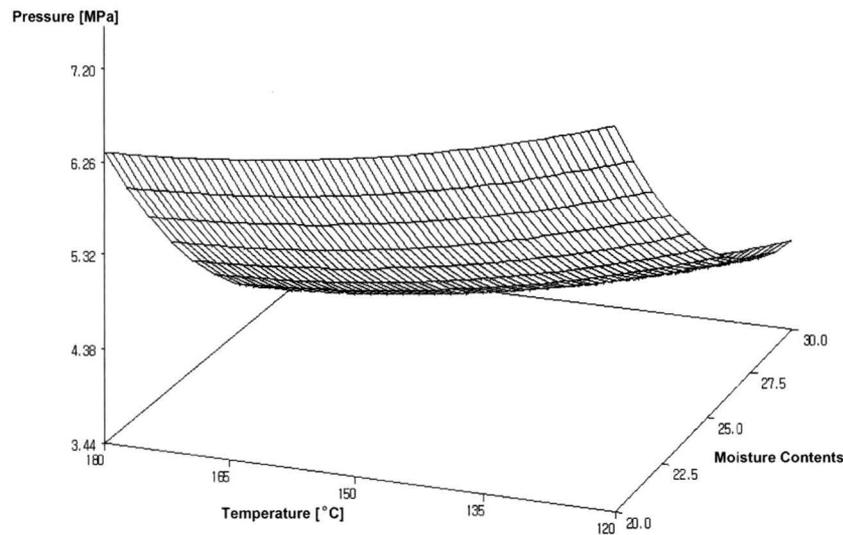


Fig. 3. Response surface plots exhibiting the effects of die temperature and feed moisture on die pressure of the extrusion system.

에 나타내었다.

바렐온도가 증가하고 원료수분함량이 감소함에 따라 걸보기밀도는 감소하고 수분용해지수는 증가하는 경향을 보였다. 걸보기밀도의 경우 수분함량이 20%에서 바렐온도를 120→180°C로 증가시키면 걸보기밀도는 0.51→0.31 g/cm³으로 감소하였으며, 바렐온도가 180°C인 경우 수분함량을 20→30%로 증가시키면 걸보기밀도는 0.31→0.56 g/cm³으로 증가하는 경향을 보였다. 바렐온도가 180°C, 원료수분함량이 20%인 경우 걸보기밀도는 0.31 g/cm³으로 가장 작았다.

수분용해지수는 원료수분함량이 20%인 경우 바렐온도를 120→180°C로 증가시키면 10.41→24.31%로 증가하였으며, 바렐온도가 180°C인 경우 원료수분함량을 20→30%로 증가시키면 24.31→13.92%로 감소하는 경향을 보였다. 바렐

온도가 180°C, 원료수분함량이 20%인 경우 압출물의 수분용해지수는 원재료(2.54%)보다 10배가량 증가한 24.31%로 최대치를 나타내었다.

압출물의 수분용해지수의 증가는 전분 macromolecule에 붕괴가 발생되어 압출성형시 호화 또는 용융되면서 점탄성 성질을 가지면서 다이 사출구를 통해 나가면서 전분 내부에 기공이 형성되어 밀도가 낮아진다고 하였다. 저수분인 원료를 고온에서 처리할 경우 전분의 호화도와 압출물의 밀도의 감소에 의해 압출물 내부의 결합력이 약화되고 기공의 크기가 증가하여 WSI가 증가된 현상을 실험 결과에서 볼 수 있었다(Kim et al., 2005).

바렐온도(120, 150, 180°C), 수분함량(20, 25, 30%)의 공정변수 조건에서 압출성형시 타타리메밀 압출물이 미치는 영향을 분석한 결과 바렐온도가 180°C, 원료수분함량이

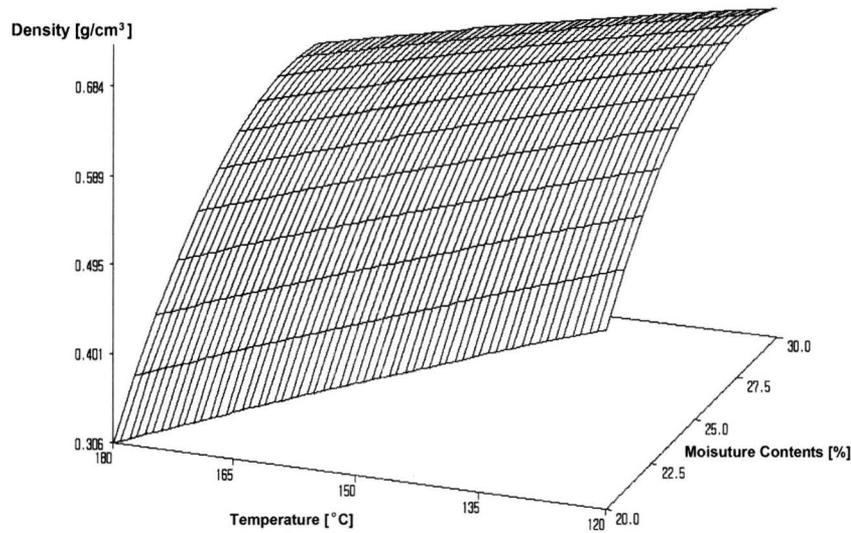


Fig. 4. Response surface plots exhibiting the effects of die temperature and feed moisture on bulk density of the extrusion system.

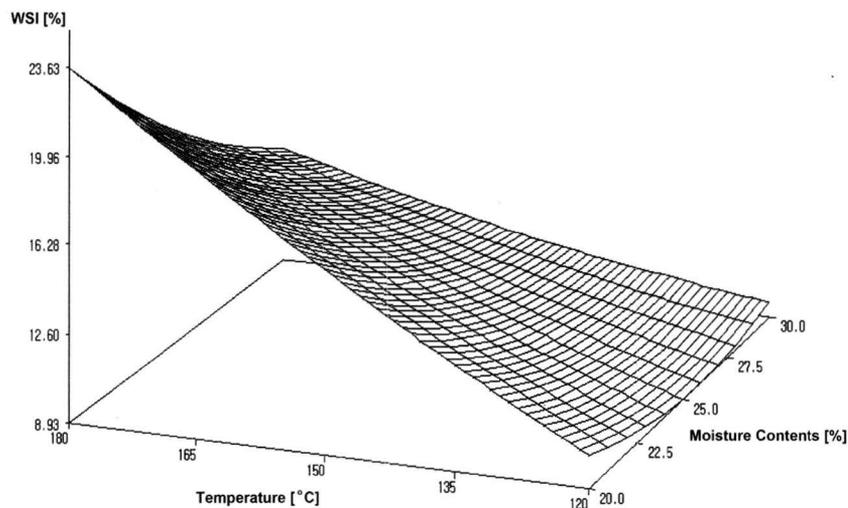


Fig. 5. Response surface plots exhibiting the effects of die temperature and feed moisture on water solubility index of the extrusion system.

20%인 경우 수분용해지수 24.31%로 최대값이 나타나 타타리메밀 압출성형 시 수분용해지수를 증가시킬 수 있는 최적 공정조건인 것을 확인하였다.

결과적으로 운반 스크류(type I)만 배열하여 실험하여 타타리메밀의 수용화에는 한계가 있는 것으로 판단되었다. 따라서 전단력의 증가가 가능한 정방향 및 역방향 반죽 스크루를 추가로 배열하여 다음과 같이 실험을 수행하였다.

스크루 배열의 최적화

타타리메밀 압출성형 시 바렐온도 180°C, 원료수분함량 20%, 스크루 속도 300 rpm으로 고정한 상태에서 정방향 및 역방향 반죽 스크루의 개수를 증가시킨 스크루 배열(type I, II, III, IV)에 따른 비기계적 에너지 투입량, 압출압력, 겔보기밀도, 수분용해지수의 측정값들을 Table 3에

나타내었다.

압출성형공정 비기계적 에너지 투입량 및 압출압력 변화

압출성형 시 바렐온도 180, 수분함량 20%인 경우 스크루 배열(type I, II, III, IV)의 변화가 비기계적 에너지 투입량과 압출압력에 미치는 영향을 분석한 결과를 Table 3에 나타내었다. 고전단처리가 가능한 역방향 반죽 스크루의 개수를 증가시킨 스크루 배열일수록 비기계적 에너지 투입량은 증가하였으나 압출압력은 감소하는 경향을 보였다.

비기계적 에너지 투입량의 값은 type I의 경우 37.20 Wh/kg이었으나 정방향의 반죽 스크루를 배열한 type II인 경우 44.53 Wh/kg으로 증가하였고, 역방향의 반죽스크루를 1개에서 2개로 추가한 type III와 type IV인 경우 각각

Table 3. Experiment values of system variables and Tartary buckwheat extrudates according to the change of screw configurations

Screw type	SME ¹⁾ (Wh/kg)	DP ²⁾ (MPa)	BD ³⁾ (g/cm ³)	WSI ⁴⁾ (%)
Type I*	37.20±0.31	6.45±0.18	0.33±0.025	24.34±0.62
Type II	44.53±0.45	4.41±0.24	0.24±0.034	29.71±0.67
Type III	80.15±0.89	4.13±0.13	0.22±0.026	31.33±0.47
Type IV	83.25±0.75	3.84±0.27	0.21±0.021	33.82±0.87

For reference, WSI of Raw material(without extrusion) was measured as 2.54±0.12%.

¹⁾Specific mechanical energy

²⁾Die pressure

³⁾Bulk density

⁴⁾Water solubility index

*Indicates the screw configuration of each type exhibited in Figure 1.

80.15 Wh/kg, 83.25 Wh/kg로 크게 증가하였다. 압출압력은 type I의 경우 6.45 MPa이었으나 정방향의 반죽 스크루를 배열한 type II인 경우 4.41 MPa으로 감소하였고, 역방향의 반죽 스크루를 추가한 type III와 type IV인 경우 각각 압출 압력이 4.13 MPa, 3.84 MPa로 감소하였다 (Table 3).

스크루 배열의 변화에 따라 비기계적 에너지 투입량은 스크루 배열 type IV와 같이 정방향 및 역방향 반죽 스크루의 개수를 증가 시킬수록 증가하는 경향을 나타내었다. 정방향 반죽 스크루를 배열한 type II인 경우 바렐 내부의 물질 흐름에 저항이 작용하여 이송효과가 감소하고 물질의 충전되는 구간과 체류시간이 증가되어 스크루를 회전 시킬 때 요구되는 비기계적에너지가 증가하였고, 역방향 반죽 스크루 개수를 증가시킨 type III, IV인 경우 배압류의 증가로 이송효과가 역방향으로 진행되기 때문에 체류시간 길어져서 type II보다 비기계적에너지가 크게 증가되어지는 것으로 사료된다.

스크루 배열의 변화에 따라 압출압력은 스크루 배열 type IV와 같이 정방향 및 역방향 반죽 스크루의 개수를 증가 시킬수록 감소하는 경향을 보였다. 역방향 반죽 스크루를 증가시킨 type IV의 경우 역방향 반죽 스크루 배열구간에 충전된 재료는 스크루 회전에 의해 발생된 바렐과의 마찰력 및 충전력에 의한 전단력에 의해 물질의 반죽, 혼합, 붕괴가 증가되어 압출물의 점성이 감소되고 압출 전의 계량구간의 충전율이 감소되어 압출압력이 감소된 것으로 해석된다.

압출성형물의 겉보기밀도 및 수분용해지수 변화

압출성형시 바렐온도 180°C, 수분함량 20%인 경우 스크루 배열(type I, II, III, IV)의 변화가 겉보기밀도와 수분용해지수 변화에 미치는 영향을 분석한 결과를 Table 3에 나타내었다.

겉보기밀도는 type I의 경우 0.31 g/cm³이었으나 정방향 반죽 스크루를 배열한 type II인 경우 0.24 g/cm³으로 감소하였고, 역방향 반죽 스크루를 1개 추가한 type III인 경우 0.22 g/cm³, 역방향 반죽 스크루를 2개 추가한 type III인 경우 0.21 g/cm³으로 감소하였다. 수분용해지수는 type I의 경우 24.31%이었으나 정방향 반죽 스크루를 배열한 type II인 경우 29.71%로 증가하였고, 역방향 반죽 스크루를 추가한 type III인 경우 31.33%, type IV인 경우 33.82%로 증가하였다.

스크루 배열의 변화에 따른 겉보기밀도의 변화는 스크루 배열 type IV와 같이 정방향 및 역방향 반죽 스크루의 개수를 증가 시킬수록 감소하는 경향을 나타내었다. 타타리메밀 압출성형 시 고 전단처리가 가능한 역방향 반죽 스크루를 추가시킨 스크루 배열일수록 강한 비기계적 에너지 투입량에 의해 충전력 변형력을 받는 정도가 달라지며 바렐 내부의 마찰력 및 전단력이 증가하여 압출물의 조직이 붕괴되고 전분의 분자량이 작아져서 겉보기 밀도가 감소된 것으로 사료된다.

스크루 배열의 변화에 따른 수분용해지수의 변화는 스크루 배열 type IV와 같이 정방향 및 역방향 반죽 스크루의 개수를 증가 시킬수록 증가하는 경향을 보였다. 수용성 증가의 결과는 샘플에 공급된 비기계적 에너지 투입량이 클수록 수분용해지수가 증가한다는 연구결과가 있다(Ng et al., 1999). 이 연구결과에 따르면 스크루 배열은 제품의 이화학적 특성을 결정하는 중요한 변수였으며, 스크루 배열이 비기계적 에너지 투입량 입력범위에 관여하기 때문에 Meuser 모델에 따라 비기계적 에너지 투입량과 수분용해지수 간의 비례적 상관관계를 보였다.

수용화의 변화의 원인은 다른 스크루 배열에 의해 달라진 전단력과 이에 따른 공급된 비기계적 에너지 투입량의 차이에 따라 타타리메밀의 점성 및 호화도가 달라졌으며, 이 결과는 Kirby et al.(1998)의 결과와 일치하였다. 또한 불용성 외피 및 세포벽 조직의 구조를 파괴하여 크기를 감소시킴으로서 수용화 되는 양을 증가시켜 수용화에 기여하였다.

요 약

본 연구에서는 압출 공정 변수의 변화 및 스크루 형상의 변화에 따른 타타리 메밀의 수용화를 증대시키기 위하여 첫째, 압출성형 공정 변수인 바렐 온도(120, 150, 180°C), 원료수분함량(20, 25, 30%)의 변화에 따른 시스템 변수(비기계적에너지 투입량, 압출압력)와 압출물의 특성(겉보기밀도, 수분용해지수)의 상관관계를 분석하여 최적의 공정조건을 선택한 후; 둘째, 스크루 배열의 변화(type I, II, III, IV)에 따른 시스템 변수(압출압력, 비기계적 에너지 투입량)의 변화와 이에 따른 압출물 특성(밀도, 수분용해지수, 미

세구조 관찰) 변화를 관찰하였다.

바렐온도 120°C, 원료수분함량 20%인 경우 비기계적 에너지 투입량 61.21 Wh/kg, 압출압력 6.98 MPa이며 바렐온도 180°C, 수분함량 30%로 증가시킨 경우 비기계적 에너지 투입량 25.36 Wh/kg, 압출압력 3.62 MPa까지 감소하여 최소값을 나타냈다.

바렐온도 120°C, 원료수분함량 30%인 경우 수분용해지수 9.00%, 겔보기밀도 0.68 g/cm³이며 바렐온도를 180°C로 증가시키고 원료수분함량을 20%로 감소시킨 경우 수분용해지수 24.31%로 증가하면서 밀도는 0.31 g/cm³로 감소하였다.

타타리메밀 압출성형시 바렐 온도 180°C, 수분함량 20%에서 수분용해지수가 원재료 2.54% 보다 약 10배 가량 증가한 24.31%의 결과가 나타나 수용성 증대를 위한 공정변수의 최적조건을 확인하였으나, 타타리메밀의 수용화에는 한계가 있어 전단력의 증가가 가능한 정방향 및 역방향 반죽 스크루를 추가로 배열함으로써 수용화를 증대시킬 수 있는 최적의 스크루 배열에 대한 연구를 수행하여야 한다.

스크루 배열에 따른 시스템 변수의 특성을 분석하기 위하여 type I→II→III→IV로 고전단처리가 가능한 정방향 및 역방향 반죽 스크루를 추가시켰을 경우 비기계 에너지 투입량은 37.20→83.25 Wh/kg로 증가하였고, 압출압력은 6.45→3.84 MPa로 감소하였다.

스크루 배열에 따른 압출물의 특성을 분석하기 위하여 type I→II→III→IV로 고전단처리가 가능한 고전단처리가 가능한 정방향 및 역방향 반죽 스크루를 추가시켰을 경우 겔보기밀도는 0.33→0.21 g/cm³로 감소하였으며 수분용해지수는 24.34→33.82%로 증가하였다.

타타리메밀 압출성형시 바렐 온도 180°C, 수분함량 20%인 경우 WSI가 원재료 2.54% 보다 약 10배 가량 증가한 24.34%의 결과가 나왔으며 스크루 배열을 정방향 및 역방향 반죽 스크루의 개수를 증가시킨 type IV로 변화시킨 경우 WSI가 33.82%까지 증가되어 타타리메밀 압출물의 수용성 증대를 위한 최적조건을 확인하였다.

사 사

본 연구는 2005년도 강원대학교 학술연구조성비의 연구지원과 농림부 농림기술개발과제의 연구지원(203034-03-3-CG000)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

Anderson R.A, Conway HF, Pfeifer VF and Griffin Jr EJ. 1969. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Sci. Today* **14**: 4-7

- Binoi K, Gogoi GS, Choudhury and Oswalt AJ. 1996. Effect of location and spacing of reverse screw and kneading element combination during twin-screw extrusion of starchy and proteinaceous blends. *Food Res. Int.* **29(5)**: 505-512
- Ding QB, Ainsworth P, Tucker G and Marson H. 2004. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks. *J. of Food Eng.* **66(3)**: 283-289
- Frame ND. 1999. The technology of extrusion cooking: operational characteristics of the co-rotating twin screw extruder. A Chapman & Hall Food Science Book. Gaithersburg, MD, USA. pp1-51
- Hwang JK, Kim CT, Cho SJ and Kim CJ. 1995. Effect of various thermal treatments on physicochemical properties of wheat bran. *Korean J. Food Sci. Technol.* **27(3)**: 394-403
- Kang CW, Kim JT, Ryu KH, Bai SC, Oh YI, Lee SJ and Han BS. 2005. Feed Extrusion Technology. Munundang, Seoul, Korea
- Kang DZ, Um JB, Lee SK and Lee JH. 2003. Content of rutin and monacolin K in the red buckwheat fermented with *Monascus ruber*. *Koeran J. Food Sci. Technol.* **35(2)**: 242-245
- Kang WS. 2004. Application of nano technology to food industry. *Food Engineering Progress* **8(4)**: 211-223
- Kang WS. 2007. Development of nano size technology in herb medicine industry. Proceedings of the Korean J. Medicinal Crop Science Spring Conference. Korea. p9-22
- Kim DE, Lee BG, Park CH and Kang WS. 2005. Effect of processing method on change of water soluble dietary fiber of *Fagopyrum tataricum*. *Agri. & Biosys. Eng.* **6(2)**: 70-76
- Kim JK and Kim SK. 2005. Compositions and pasting properties of *Fagopyrum esculentum* and *Fagopyrum tartaricum* endosperm flour. *Korean J. Food Sci. Technol.* **37(2)**: 149-153
- Kirby AR, Ollett AL, Parker R and Smith AC. 1988. An experimental study of screw configuration effects in the twin-screw extrusion-cooking of maize grits. *Journal of Food Engineering* **8(4)**: 247-272
- Ng A, Lecain S, Parker ML, Smith AC and Waldron KW. 1999. Modification of cell-wall polymers of onion waste III. Effect of extrusion-cooking on cell-wall material of outer fleshy tissues. *Carbohydrate Polymers. Volume* **39(4)**: 341-349
- Park BJ, Kwon SM, Park JI, Chang KJ and Park CH. 2005. Phenolic compounds in common and tartary buckwheat. *Korean J. Crop Sci.* **50(1)**: 175-175
- Park CH, Heo K, Choi SY, Lee KC, Chang KJ, Kang YK and Choi YS. 1999. Growth analysis of buckwheat influenced by seeding time and planting density. *Kor. J. Intl. Agri.* **11(2)**: 216-221
- Ryu GH and 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(5)**: 947-954
- Sung NK. 2000. SAS/STAT Regression Analysis 2nd End. Freedom Academy, Seoul, Korea

(접수 2008년 4월 1일, 채택 2008년 5월 2일)