

이축 압출 성형기를 이용한 붉은자루 동충하초의 압출 성형

김동은 성재모 강위수

Extrusion-cooking Using Twin-screw Extruder on *Cordyceps Pruinosa*

D. E. Kim J. M. Sung W. S. Kang

Abstract

The extrusion-cooking condition on *Cordyceps pruinosa* was designed using twin-screw extruder. Response surface methodology (RSM) was used to investigate extrusion-cooking using a central composition design with varying die temperature (114-146°C), feed moisture (22-38%), feed rate (4-14 kg/h) and screw speed (120-280 rpm). System parameters (die pressure and specific mechanical energy (SME)) and extrudate parameters (density and water solubility index (WSI)) were statically analyzed using RSM.

Die pressure was significantly affected by temperature, moisture contents and feed rate. SME was affected by screw speed and feed rate. When die temperature is 130°C and moisture content 25%, the optimum pressure is shown. SME is about 20 Wh/kg, when feed rate is 10~12 kg/min and screw speed 200~250 rpm. WSI was affected by temperature and moisture contents. Density was not affected by any factor. WSI increases by 7% from about 23% to about 30%, as temperature is raised from 120°C to 140°C.

The WSI of *Cordyceps pruinosa* pulverized after extruding (PE) is about 26.97% higher than that of raw material and 10% higher than that of pulverized after drying (PD). The content of unsaturated fatty acid were not significantly different in PD and PE. Anti-oxidative activity of PE was 1.67-2.2 times higher than that of PD in *Cordyceps pruinosa* using 1-diphenyl-2-picrylhydrazyl method (DPPH)

Keywords : Twin-screw extruder, Extrusion, *Cordyceps-pruinosa*, RMS

1. 서론

동충하초 버섯은 곤충을 기주로 하여 자실체(字實體)를 발 생하는 버섯으로서 동물성인 기주와 식물성인 자실체(버섯) 로 이루어진 버섯의 일종이다 동충하초는 Cordycepin, β -D-glucan, polysaccharide 등의 생리활성물질이 함유되어 있어, 암의 억제, 면역기능 강화, 고혈압, 뇌졸중, 심장병 대한 예방 및 개선 효과 등의 효과가 입증되고 있으며, 대량생산을 위한 인공 재배 연구가 진행되고 있다(Sung, 1999; Oh et al., 2003).

강원대학교 동충하초 은행에서 인공 재배한 동충하초는 번 데기 17%와 현미 83%의 비율로 배지가 구성되어 있다(Shin, 2003). 동충하초는 수분함량이 많고, 세포벽의 구성성분들이 매우 조밀하게 결합되어 있으며, 불용성 식이섬유인 셀룰로 오스, 헤미셀룰로오스 등이 포함되어 있다. 동충하초를 제품 화하기 위해서는 고유한 영양성분 및 생리 활성물질이 잘 보 존되고, 수용성 식이섬유를 증대시킬 수 있는 가공 기술이 개 발되어야 한다.

불용성 식이섬유를 수용화하는 물리적 가공 방법으로 분쇄

This work was supported by a grant from BioGreen 21 Program, Rural Development Administration (RDA), Republic of Korea. The article was submitted for publication in September 2004, reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in October 2004.

The authors are D. E. Kim, KSAM member, Graduate Student, Biological System Engineering, J. M. Sung, Professor, Div. of Environmental Biology and W. S. Kang, KSAM member, Associate Professor, Biological System Engineering, Kangwon National University, Chuncheon, Korea. The corresponding author is Wie-So Kang, Associate Professor, Biological System Engineering, Kangwon National University, Chuncheon, Korea; E-mail : <kangwiso@kangwon.ac.kr>

(pulverization), 볶음(roasting), 고압증기멸균기(autoclaving), 전자기파(electromagnetic wave), 추출(extracting), 압출성형(extrusion) 등이 이용되고 있다(Hwang et al., 1994; Shin et al., 2001). 이 중 압출 성형공정은 온도, 함수율, 압력/전단에 의한 연속적인 가공 조건에서 식품 원료의 물리화학적, 영양학적, 생리적 특성뿐만 아니라 성분함량의 변화에도 이용된다는 점에서 식품제조에 널리 이용되고 있으며(Vasanthan, 2002), 특히 불용성 상태로 존재하는 식이섬유를 압출성형공정을 이용하여 수용성 식이 섬유 함량을 증가시키고 식이 섬유내 생리활성물질의 추출을 증가시킬 수 있는 장점이 있다(Hwang et al., 1994; Thava, 2002).

식이 섬유가 많이 함유된 식품에 대한 압출 성형은 다양한 스크류 조합으로 압출 성형을 하며, 공정변수(수분함량, 작업처리량, 압출온도)의 변화에 따라 시스템 변수(압력, 기계적 소모에너지(Specific Mechanical Energy, SME) 등) 및 최종제품의 물성(수분용해지수(Water Solubility Index, WSI), 밀도 등)에 영향을 미친다. 압출 성형공정의 조건에 따른 제품의 물성변화를 예측하는 방법으로 반응표면분석(Response surface methodology, RSM)을 사용한다. RSM은 여러 개의 공정변수 중 몇 개가 종속변수에 유의한지를 분석하며, 종속변수의 최적 반응값 및 공정개발을 위한 통계적 방법으로 압출성형공정에서 많이 이용된다(Sacchetti et al., 2004; Guan et al., 2003; Bhattacharya et al., 1999; Singh, 1997).

이중 압출 성형기의 스크류는 이송 스크류(conveying screw)와 혼합 스크류(kneading disc or reverse screw)의 다양한 형태로 조합되어 있다. 이중 혼합 스크류(kneading disc)는 편심원을 갖는 일정 두께의 원판을 각도별(30°, 45°, 60°, 90° 등)로 형성한 것으로, 조립된 입자를 양측의 회전에 의한 전단력에 의하여 반죽 및 파쇄하며, 원료의 이송능력이 적어 층진율이 증가될수록 혼합효과가 증대되며, 또한 고전단력으로 분쇄하므로 제품의 용해도를 증가시키는 장점이 있다(Gogoi et al., 1996; Chouldhury et al., 1998).

압출 성형 방법을 이용하여 식물 세포벽의 구조를 변화시켜 불용성 식이섬유를 수용성 식이 섬유화하여 용해도를 증가시키는 방법이 국내외에서 시도되었다. Kim 등(1996)은 밀기울을 압출 성형한 후 RMS방법을 이용하여 WSI를 분석하였는데 WSI는 원재료 보다 2.6%-9.5% 정도 증가하였고, 수분함량이 낮고 원료의 공급량이 적을 경우 WSI가 증가하였다고 보고하였다. 옥수수 분말 압출 성형에서 원료투입량이 증가할수록 압출 압력은 증가하며 압출온도와 SME가 감소하고, 스크류 회전속도가 증가할수록 압출 온도, 기계적 에너지 소모율 및 압출 압력이 증가한다고 보고하였다(Kim et al., 1991). Ding 등(2004)은 쌀을 압출 성형하여 물리 화학적

특성을 분석하였는데 공급량이 증가 할수록 WSI가 낮아지며 수분함량이 증가 할수록 밀도가 높아지고 WSI가 낮아지며, 높은 온도에는 WSI는 증가하나 밀도는 감소한다고 보고하였다. Hwang 등(2001)은 현미를 압출 성형한 후 RMS를 이용하여 분석한 결과 WSI는 수분함량에 큰 영향을 보인다고 하였으며, 수분함량이 높은 경우에는 온도에 의한 영향을 크게 받으며, 온도의 증가에 따라 전분의 호화 정도가 증가되어 WSI가 감소한다고 보고하였다. Bhattacharya(1997)는 쌀과 녹두 혼합물을 압출 성형시 스크류 속도를 증가시켰을 경우 SME가 증가한다고 설명하였으며, 밀도는 온도가 높아질수록 낮아진다고 보고하였다. 이런 압출 성형기술은 대체로 곡류의 수용화에 이용되어 왔지만 곡류로 재배한 동충하초에 대해서는 압출성형기술이 시도되지 않았다. Kang(2003)은 붉은 자루 동충하초를 압출 성형하여 고급품질의 초미분말차 혹은 다양한 과립제품을 양산화 할 수 있는 기술 개발의 가능성을 보고하였다.

본 연구에서는 붉은자루 동충하초 압출 성형시 용해도를 향상시키기 위한 공정을 관찰하기 위하여 공정변수(스크류 회전속도, 원료의 공급량, 수분함량, 다이 온도)변화에 따른 시스템 변수(압출 압력, SME)와 압출물 특성(밀도, WSI)의 관계를 반응 표면 분석하여 비교하였으며, 압출 성형한 붉은자루 동충하초 제품의 특성을 분석하기 위해 압출성형 후 분쇄한 시료(PE)와 건조 후 분쇄한 시료(PD)의 수분용해지수, 지방산 성분, 항산화 효과(DPPH 방법)를 측정하여 비교하였다.

2. 재료 및 방법

가. 공시 재료

붉은자루 동충하초(*Cordyceps pruinosus*)는 강원대학교 동충하초 은행(EFCG)에서 수집한 것으로 인공 자실체 조성 비율은 현미 83%, 번데기 17%이며, 함수율이 69.62 w.b.%인 원재료를 원적외선 건조기로 건조한 후 조과쇄기를 이용하여 조과쇄하였다. 실험 조건에 따른 함수율과 산물 밀도(Bulk density)는 AACCG가 규정한 오븐법 및 산물밀도 측정방법을

Table 1 Moisture content and bulk density of coarsely fractioned *Cordyceps pruinosus*.

Moisture content (% wb)	Density (g/cm ³)
22	0.2022
25	0.2245
30	0.2434
35	0.2667
38	0.2841

이축 압출 성형기를 이용한 볏은자루 동충하초의 압출 성형

이용하여 측정하였으며, 값은 표 1에 나타내었다.

나. 압출 성형 공정

1) 실험 방법

본 연구에 사용한 압출 성형기는 동방향 완전 맞물림형 이축 압출 성형기(Co-rotating, intermeshing type twin-screw Extruder, HANKOOK E.M Ltd., Korea)로서 L/D의 비가 32:1 이고, 스크류 직경은 32 mm이며 스크류 배열은 그림 1과 같다. 실험에 사용한 스크류는 conveying element 48 mm, 33 mm, 24 mm, 11 mm(forward pitch)이고, Kneading element 24 mm(90°, 60°, 45°, forward), 33 mm(30°, forward)이다. 배열은 배럴 3번에서부터 다이 방향으로 kneading element (KE)를 90°, 60°, 45°, 30° 순서로 연결한 스크류 조합형태로 실험을 행하였으며, 다이의 L/D 비(Land length/Diameter)는 7:1이며 지름은 4 mm인 원형 타입을 사용하였다. 배럴은 8개의 section으로 구성되어 있으며, 7번에서 3번 section까지 전열기와 냉각수로 조절하여 110/100/90/80/70°C 순으로 고정하였으며, 다이와 8번 배럴의 온도를 변화 시키면서 실험하였다(표 2). 또한 조파쇄된 원료의 투입은 용적식 투입장치인 sing-screw feeder를 사용하여 투입하였다.

운전중의 원료 공급 속도, 스크류 회전속도, motor amp, 압출온도, 압출압력 등에 대한 자료는 LCD display panel에 자동으로 표시 되고, 동시에 Interface를 통하여 자동으로 계속

장비(DEWE BOOK, DEWETRON, GERMANY)에 측정되었다.

2) 실험 설계

예비실험을 통하여 압출성형기에 영향을 주는 공정변수인 온도(X_1), 수분함량(X_2), 원료 공급량(X_3), 스크류 속도(X_4) 등 4개의 독립변수(k=4)를 결정하였다. 반응표면 실험은 4요인, 5수준의 중심합성계획(central composite design, CCD)방법에 의해 실시하였으며 표 3에 실험설계를 나타내었다. 28개의 선정된 실험 조건에서 압출성형 하였으며 총 실험 수는 다음 식에 따라 하였다.

$$n = 2^k + 2k + n_0 \quad (1)$$

중심점(n_0)의 수는 4개이며 비중심점의 수는 24개이다. 독립변수의 코드화한 값의 범위는 표 3에 나타냈다(이 등, 2000).

3) 측정 항목

가) 비기계적 에너지(Specific Mechanical Energy, SME)

비기계적 에너지는 원료가 투입되어 압출성형기를 통과할 때 원료의 단위 질량당 소비된 전기에너지(electrical energy)로서 류 등(1997)의 방법에 의하여 측정하였다. 원료 투입시의 전력(electrical power)에서 모터 공회전시의 전력을 빼면 실제 원료에 투입된 전력이 되며, 이에 대하여 생산량을 나누어 계산되는 비기계적 에너지의 계산식은 다음과 같다.

Table 2 Temperature profile in extruder zone.

	Temperatre in Last section (°C)		Temperature profile (°C)				
	Die	B8	B7	B6	B5	B4	B3
1	114	114	110	100	90	80	70
2	120	120	110	100	90	80	70
3	130	130	110	100	90	80	70
4	140	140	110	100	90	80	70
5	146	146	110	100	90	80	70

Table 3 Levels of independent variables for experimental design.

X_i	independent variables	Levels				
		-1.607	-1	0	+1	+1.607
X_1	Temperature (°C)	114	120	130	140	146
X_2	Moisture contents (%)	22	25	30	35	38
X_3	feed rate (kg/h)	4	6	9	12	14
X_4	screw speed (rpm)	120	150	200	250	280

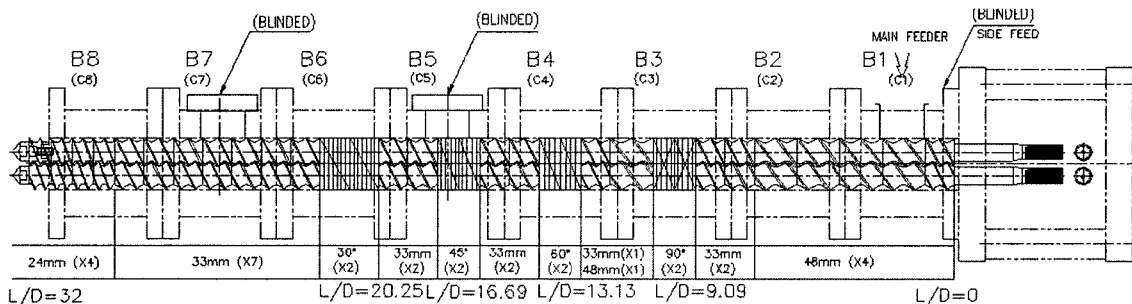


Fig. 1 Screw configuration (KE 90°, 60°, 45°, 30° Right).

비기계적 에너지(Wh/kg)=

$$\frac{\text{원료투입시의 전력}(W) - \text{공회전시의 전력}(W)}{\text{생산량}(kg/h)} \quad (2)$$

나) 밀도

밀도는 압출 성형된 시료를 15 mm로 절단하여 105℃에서 항량 될 때 까지 건조한 후 무게를 측정하였고, 건조된 시료의 부피를 측정(압출물의 지름 및 길이는 전자식 버니어 캘리퍼스로 측정, Mitutoyo, JAPAN)하여 평균한 후 무게와 부피의 관계에서 밀도를 계산하였다(Ding, 2004).

다) 수분용해지수(WSI)

WSI는 Anderson et al.(1969)의 방법에 의하여 측정하였다. 압출 성형한 시료를 분쇄하여 250 μm의 체를 통과 시킨 후 시료 1 g과 증류수 20 ml를 원심분리 튜브에 투입하여 30℃로 30분간 교반시킨 후, 원심분리기를 이용하여 2000×g(14520 rpm)에서 10분간 원심 분리하였다. 상등액을 건조한 고형분량과 압출성형물 시료의 무게 백분율을 수분용해지수 (WSI)로 표시하였으며 식은 아래와 같다.

$$WSI = \frac{\text{Weight of sediment}}{\text{Weight of dry solid}} \quad (3)$$

4) 통계분석

실험 결과는 SAS(Statistical Analysis System, USA) 프로그램을 이용하여 처리하였고, 다중회귀 방정식에 의하여 독립변수의 변화에 따른 시스템 변수(압출 압력(bar), 기계적 투입량(SME)(W×h/kg))와 압출물 특성(밀도, WSI)의 관계를 반응 표면 분석하였다. 반응 표면 분석은 여러 개의 독립변수가 교호작용을 함으로서 종속 변수에 영향을 주고 있을 때, 이러한 반응의 변화가 이루는 반응 표면에 대한 통계적인 모형을 만들어 분석을 하는 법을 말한다. 모델식은 식 (4)와 같은 2차 회귀 모형을 적용하였다(이 등, 2000; 성, 2000).

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i < j}^k \beta_{ij} x_i x_j \quad (4)$$

여기서, Y는 종속변수, β는 상수이며, x는 독립변수를 나타낸다.

또한 붉은자루 동충하초 압출에 있어서 독립변수의 조건이 시스템 변수에 미치는 영향은 예측된 모델식을 바탕으로 반응 표면 곡선(Response Surface Plot)으로 그렸다(성, 2000).

다. 가공 방법에 따른 제품 성분 분석

1) 분쇄처리 방법

압출 성형한 붉은자루 동충하초 제품과 건조한 붉은자루 동충하초 제품의 성분을 분석하기 위해 초저온 초미분 터보분쇄기(HKP-05, Korea Energy Technology, Korea)를 이용하여 분쇄 선속도 100m/s에서 초미분쇄하였다.

2) 수분용해지수(Water Solubility Index, WSI)

붉은자루 동충하초의 가공 방법에 따른 수분용해지수를 측정하기 위하여 공시재료, 건조-미분쇄 재료, 압출 성형 미분쇄한 시료를 가지고 측정하여 비교하였다. 공시재료는 함유율이 69.62 w.b.%인 원재료를 2.5 g 채집 후 아래 방법에 의하여 측정하였으며, 건조-미분쇄 한 시료와 압출 성형-미분쇄한 시료를 분쇄하여 250 μm의 체를 통과 시킨 후 시료 2.5 g과 증류수 40 ml를 원심분리 튜브에 투입하여 교반시킨 후, 원심분리기를 이용하여 원심 분리하였다. 상등액을 분리하고 동결 건조기로 건조한 후 건조한 고형분량과 압출성형물 시료의 무게 백분율을 수분용해지수(WSI)로 표시하였다(kang et al., 2004).

3) 지방산 분석

건조-미분쇄한 시료와 압출성형 후-미분쇄한 시료를 Gas Chromatography 방법을 이용하여 지방산 조성을 분석하였으며 조건은 표 4와 같다.

4) DPPH에 의한 산화억제 실험

건조-미분쇄한 시료와 압출 성형-미분쇄한 시료의 DPPH 분석을 통하여 산화 억제 특성을 조사하였다. 붉은자루 동충하초의 항산화효과를 측정하기 위하여 전자공여능(electron donating ability EDA%)에 의한 환원력으로 항산화능을 표시하는 방법이며, 산화억제력이 클수록 낮은 OD값을 보인다. 동

Table 4 The operating conditoinis of the GC for fatty acid.

Instrument	Hewlett-Packard 6890 Gas Chromatography	
Column	ZB-WAX (30 m × 0.25 mm id × 0.25 um df) Capillary Column	
Oven. temp.	Initial temp.	140℃
	Final temp	250℃
	Final time	30 min
Injector temp.	250℃	
Detector temp.	260℃	
Carrier gas flow rate	30 mL/min	
Split Ratio	7 : 1	

충하초 각 시료 농도가 10, 40, 80, 160, 200, 400, 800 ug/ml 가 되게 하여, 0.1 ml DPPH(1,1-Diphenyl-2-picryl hydrazyl) 용액(99.5% Ethanol 용해)을 가한 후에 37℃에서 30분 동안 방치하였다. 그런 후에 ELISA reader(VERSA Max Microplate Reader, Molecular Devices, USA)를 이용하여 515 nm에서의 흡광값의 감소를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 압출성형공정

본 연구에서 붉은자루 동충하초에 대한 압출 성형시 스크류 회전속도, 원료의 공급량, 수분함량, 다이 온도의 공정 변수의 변화에 따른 압출 압력, 비기계적 투입량(SME), 밀도, WSI의 값을 SAS 프로그램을 사용하여 분석한 결과는 다음과 같다.

1) 압출압력의 변화

붉은자루 동충하초 압출 성형시 온도, 수분함량, 원료 공급량, 스크류 속도 등의 4개의 공정변수가 압출 압력에 미치는 영향을 분석하였다. 반응표면 회귀 분석을 하였을 경우 압출 압력에 대한 결정계수(R²)는 0.9189로 반응 모형은 적합하며 모형에 대한 유의확률(Prob>F)은 <0.0001이 나와 통계적으로 유의하였다(표 5). 선형 효과와 순수 이차 효과는 유의 확률이 각각 <0.0001, 0.0209가 나와 통계적으로 유의하였다. 압출 압력에서 독립변수 변화에 의한 회귀식은 다음과 같다.

$$Y=854.9628-8.6306X_1-13.9598X_2+9.8024X_3-0.3496X_4 +0.0311X_1^2+0.0212X_1X_2+0.1480X_2^2-0.1062X_3X_1 +0.1042X_3X_2+0.0108X_3^2-0.00012X_4X_1+0.0018X_4X_2 +0.0079X_4X_3+0.00054X_4^2$$

독립변수들에 대한 종합 검정을 나타내었을 경우, 온도, 수분함량, 원료 공급량 등의 변수들은 큰 유의성(P<0.05)을 나타냈으나 스크류 속도는 유의 확률이 P>0.05가 나와 큰 영향력을 나타내지 못하는 것으로 분석됐다(표 5).

온도 및 수분함량 변화에 따른 압출 압력의 변화를 반응 표면 곡선으로 그림 2에 나타내었다. 온도를 125℃에서 135℃로 증가 시키면 압력은 55bar에서 35bar로 감소하는 경향을 나타내었으며, 온도 125~135℃ 범위 내에서 수분함량을 25%에서 35%로 증가시켜도 압력 편차는 약 2~4 bar 범위로 작게 나타남으로서 압출 압력은 온도에는 영향을 받으나 함수율에는 큰 영향을 받지 않음을 분석할 수 있었다.

즉, 동충하초의 압출 조건은 130℃ 온도에서 25% 함수율 일 때 주어진 스크류 형상에 의하여 발생하는 전단력에 의하여 균일하게 혼련되어 압출물의 점도의 크기가 최소치가 다 이까지 일정한 유동층을 형성하여 압출됨으로서 압력의 편차가 작아지면서 균일한 밀도를 가진 제품을 압출 할 수 있다는 것을 분석 할 수 있다.

2) 비기계적 에너지(SME)의 변화

SME는 압출 성형시 전단에 의한 기계적 에너지의 투입량을 측정하는 것으로서, 전분의 호화도, 팽화율, 용해율 등의 압출

Table 5 Response surface methodology of central composite design - analysis of variance, factor presumption.

Regression	DF ¹⁾	Die Pressure [bar]			SME (Wh/kg)			Density (g/cm ³)			WSI (%)		
		SS	R ²	Prob>F	SS	R ²	Prob>F	SS ²⁾	R ²	Prob>F	SS	R ²	Prob>F
Linear	4	2347.61	0.7367	<0.001	1673.11	0.4523	0.0025	0.1393	0.2882	0.0352	98.02	0.7816	<.0001
Quadratic	4	335.50	0.1053	0.0209	902.63	0.2440	0.0252	0.0711	0.1470	0.1836	9.43	0.0752	0.1133
Cross	6	245.38	0.0770	0.1297	387.77	0.1048	0.3924	0.1467	0.3036	0.0769	4.69	0.0373	0.6115
Total Model	14	2928.49	0.9189	<0.0001	2963.50	0.8011	0.0114	0.3571	0.7387	0.0454	112.12	0.8941	0.0003
Factor	DF	SS	Prob>F	SS	Prob>F	SS	Prob>F	SS	Prob>F	SS	Prob>F	SS	Prob>F
X13)	5	1915.11	<0.0001	505.78	0.1848	0.1121	0.1044	69.69	0.0001				
X24)	5	795.04	0.0012	650.86	0.1052	0.1340	0.0652	30.74	0.0043				
X35)	5	378.60	0.0241	1044.19	0.0268	0.1217	0.0851	1246	0.0905				
X46)	5	82.50	0.5506	1161.17	0.0186	0.1349	0.0640	3.63	0.6260				

DF¹⁾: Degrees of freedom

SS²⁾: Sum of squares of residue

X₁³⁾: Temperature (℃)

X₂⁴⁾: Moisture contents (%)

X₃⁵⁾: Feed rater (kg/h)

X₄⁶⁾: Screw speed (rpm)

성형물의 물성 변화를 분석하는 지표로서 이용된다(Miladinov and Hanna, 2000).

반응표면 회기 분석을 하였을 경우 SME에 대한 결정계수 (R^2)는 0.8011로 반응 모형은 적합하며 모형에 대한 유의확률은 0.0114 나와 통계적으로 유의하였다. 선형 효과와 순수 이차 효과는 유의 확률이 각각 0.0025, 0.0252가 나와 통계적으로 유의하였다(표 5). SME 에서 독립변수 변화에 의한 회귀식은 다음과 같다.

$$Y = -901.7171 + 13.6231X_1 - 2.9847X_2 + 13.0069X_3 + 0.3376X_4 - 0.0492X_1^2 - 0.02295X_1X_2 + 0.1458X_2^2 - 0.0254X_3X_1 - 0.1586X_3X_2 - 0.5165X_3^2 + 0.0005X_4X_1 - 0.0117X_4X_2 + 0.0308X_4X_3 - 0.0005X_4^2$$

독립변수들에 대한 종합 검정을 나타내었을 경우, 원료 공급량과 스크류 속도는 $P < 0.05$ 가 나와 큰 유의성을 나타냈으나 온도, 수분함량의 변수들은 유의확률이 $P > 0.05$ 가 나와 큰 영향력을 나타내지 못하는 것으로 분석되었다(표 5).

원료 공급량 및 스크류 속도 변화에 따른 SME의 변화를 반응 표면 곡선으로 그림 3에 나타내었다. 원료 공급량 6~7 kg/min, 스크류 속도 150~160 rpm의 범위에서는 SME의 값이 약 4 Wh/kg의 값이 나왔으며, 원료 공급량을 10~12 kg/min, 스크류 속도 200~250 rpm의 범위에서는 SME의 값이 약 20 Wh/kg으로 증가되는 경향을 나타내었다.

SME은 스크류와 스크류 또는 바렐과 스크류 사이의 마찰력과 원료의 점도에 의존한다(Harper, 1989). 원료 공급량의 증가로 바렐 내의 충전율이 증가되어 스크류 속도의 증가로 마찰력 및 전단력이 증가되어 SME 증가된다고 사료된다.

3) 밀도의 변화

밀도는 독립변수들에 대해 유의성을 나타내지 않았지만 다공성 및 팽화율의 지표로서 이용된다. 반응표면 회기 분석을 하였을 경우 밀도에 대한 결정계수(R^2)는 0.7387이 나왔으며, 반응모형에 대한 유의확률은 0.0454가 나와 통계적으로 유의하였다. 선형 효과는 유의 확률이 0.0352가 나와 통계적으로 유의하였다(표 5). 밀도에서 독립변수 변화에 의한 회귀식은 다음과 같다.

$$Y = +2.789 + 0.0384X_1 - 0.2268X_2 + 0.0115X_3 - 0.0065X_4 - 0.0001X_1^2 - 0.0002X_1X_2 + 0.0019X_2^2 - 0.0007X_3X_1 + 0.0034X_3X_2 - 0.0004X_3^2 + 0.0002X_4X_2 + 0.0003X_4X_3 - 0.00001X_4^2$$

독립변수들에 대한 종합 검정을 나타내었을 경우 스크류 속도, 수분함량, 원료 공급량, 온도 순서로 유의성을 나타내었다.

스크류 속도 및 수분함량 변화에 따른 밀도의 변화를 반응 표면 곡선으로 그림 4에 나타내었다. 스크류 속도 250 rpm과 수분함량 35% 지점에서 밀도가 약 1.2 g/cm³으로 높은 값을 나타냈다.

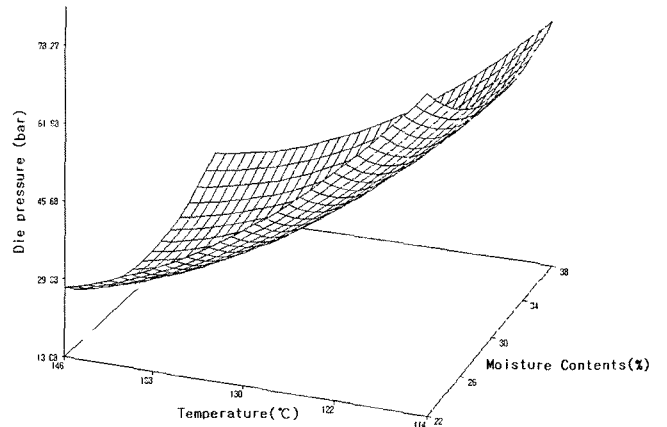


Fig. 2 Response surfaces plot of temperature and moisture contents on the die pressure at constant screw speed and feed rate.

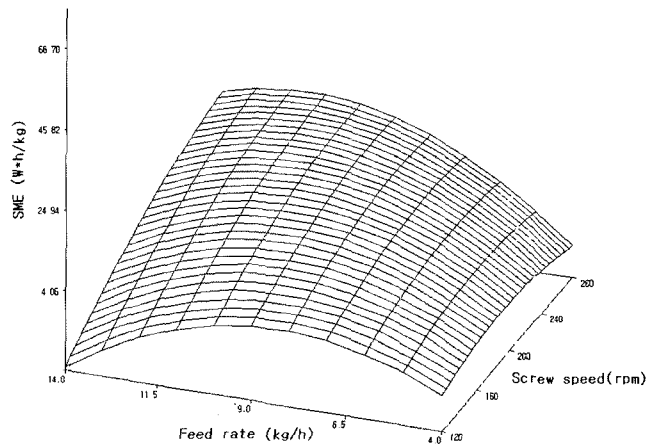


Fig. 3 Response surfaces plot of feed rate and screw speed on the SME at constant die temperature and moisture contents.

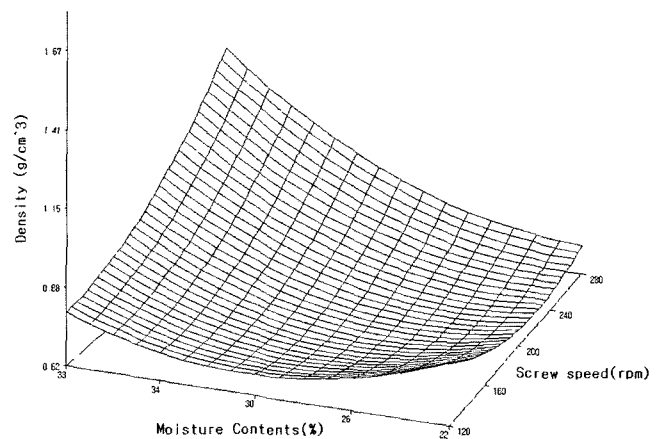


Fig. 4 Response surfaces plot of moisture contents and screw speed on the density at constant die temperature and feed rate.

4) 수분용해지수(WSI)의 변화

반응표면 회기 분석을 하였을 경우 WSI에 대한 결정계수 (R²)는 0.8941로 반응 모형은 적합하며, 모형에 대한 유의확률은 0.0003가 나와 통계적으로 유의하였다. 선형 효과는 유의 확률이 <0.0001가 나와 통계적으로 유의하였다(표 5). WSI에서 독립변수 변화에 의한 회귀식은 다음과 같다.

$$Y=105.6166-0.7794X_1-2.392X_2-0.8826X_3+0.02X_4+0.0031X_1^2+0.0046X_1X_2+0.0246X_2^2+0.0076X_3X_1+0.0028X_3X_2-0.0488X_3^2-0.0003X_4X_1-0.0005X_4X_2+0.0013X_4X_3+0.00002X_4^2$$

독립변수들에 대한 종합 검정을 나타내었을 경우 온도, 함수율은 큰 유의성(P<0.05)을 나타냈으나 원료 공급량, 스크류 속도는 유의 확률이 P>0.05가 나와 큰 영향력을 나타내지 못하는 것으로 분석됐다.

온도 및 수분함량 변화에 따른 WSI의 변화를 반응 표면으로 그림 5에 나타내었다. WSI는 온도가 120~140℃로 증가할수록 약 23%에서 약 30%까지 7%가 증가하였다.

WSI는 압출물의 전분의 변화를 추측할 수 있는 지표로서 전분 구조의 파괴의 정도를 알 수 있다. WSI는 전분의 붕괴에 의해 발생하는 수용성 물질의 양에 비례하는데 이러한 결과는 바렐의 온도가 증가할수록 압출물의 용융 온도의 증가와 스크류 Kneading Element(KB) 부분에서 전단력의 증가로 인하여 전분이 호화되어 WSI가 증가한다고 사료된다.

나. 가공 방법에 따른 제품 성분 분석

1) 수분용해지수 비교

붉은자루 동충하초의 용해도를 증가시키기 위하여 공시재

료, 건조-미분쇄한 시료(PD)와 압출성형-미분쇄한 시료(PE)를 비교 분석하였다. 각각 고휘분의 용해도를 비교하면 표 6에서 보듯이 공시재료의 용해도를 측정된 결과 수분용해지수가 5.23%로 조사되었으며 건조후 미분쇄한 재료의 용해도를 측정된 결과 수분용해지수가 32.2%로 조사되었다. 압출 성형 후 분쇄한 미분말의 수분용해지수는 42.9%로 공시 재료보다 약 26.97% 향상되었고 건조후 미분쇄한 재료보다 용해도가 약 10% 향상되었다. 동충하초 시료를 동결건조하거나 초미분말 가공처리 하여도 물에 용해가 잘 되지 않으나 압출 가공 처리하면 열과 압력에 의하여 고분자가 저분자가 되어 물에 잘 용해되는 것을 이 실험을 통하여 알 수 있었다. 붉은자루 동충하초 압출성형시 스크류의 형상 및 배열을 설계하여 전단력을 증가 시켜서 압출 성형을 하면 현재의 연구보다 용해도를 더 증가시킬 수 있을 것이라고 사료된다.

2) 붉은자루 동충하초의 지방산 분석

본 연구에서는 붉은자루 동충하초를 제품화시키는 과정에서 재료가 갖고 있는 고유 성분이 가공 처리과정에서 변질이 최소화 할 수 있는 방법을 조사하기 위하여 건조-미분쇄한 시료(PD)와 압출성형-미분쇄한 시료(PE)의 고유 성분 변화를 분석하고자 하였다.

PD와 PE의 지방산 조성을 보면 PD 시료의 불포화 지방산이 83.31%, PE 시료의 불포화 지방산이 82.78%로 변화가 거의 없음을 보였으며, 특히 필수 지방산인 18:1(Oleic Acid)이 21.27%에서 24.09%로 또 18:2(Linoleic Acid)이 28.42%에서 26.10%로 압출 성형 후에도 변화가 거의 없어 유효성분의 변화 없이 가공할 수 있고(표 7), 붉은자루 동충하초를 압출 성형 가공 방법으로 제품화 할 경우 원재료가 갖고 있는

Table 6 WSI of *Cordyceps Pruinoso* obtained from Processing.

	Raw material	Pulverized product sample after drying (PD)	Pulverized product sample after extruding (PE)
WSI (%)	5.23	32.2	42.9

Table 7 Fatty acid composition of *Cordyceps pruinosa*.

	Fatty Acid (%)										
	14:0	15:0	15:1	16:0	16:1	17:0	17:1	18:0	18:1	18:2	18:3
PD	trace	0.35	0.25	13.90	1.55	0.33	trace	1.85	21.27	28.42	31.46
PE	0.18	0.30	0.12	13.58	1.33	0.17	0.08	1.92	24.09	26.10	30.67

	Fatty Acid (%)							Total Amount of Saturated Fatty Acid	Total Amount of Unsaturated Fatty Acid
	20:0	20:1	20:2	22:0	23:0	24:0			
PD	trace	0.36	trace	trace	0.26	trace	16.69	83.31	
PE	0.25	0.30	0.09	0.23	0.43	0.16	17.22	82.78	

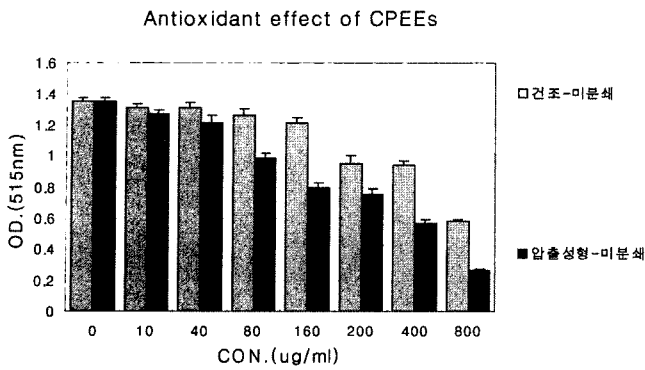


Fig. 6 Antioxidant effect of *Cordyceps pruinosa* by processing.

고유한 성분을 최대한 보존 할 수 있는 가장 적합한 가공 처리 방법임을 분석 할 수 있었다.

3) DPPH에 의한 산화억제 실험

항산화효과를 측정하기 위하여 전자공여능(electron donating ability EDA%)에 의한 환원력으로 항산화능을 표시하는 방법이며, 산화억제력이 클수록 낮은 OD값을 보인다.

건조-미분쇄한 시료(PD)와 압출성형-미분쇄한 시료(PE)의 항산화 효과를 비교하였을 때 400(ug/ml)에서 PD 시료는 0.946, PE 시료는 0.565의 값이 나왔으며 800(ug/ml)일 때 PD 시료는 0.580, PE 시료는 0.265로 PE 시료가 PD 시료보다 OD 값이 더 낮아졌으며, PE 시료의 산화 억제력이 PD 시료에 비해 1.67-2.2배 정도 높아짐을 알 수 있다(그림 6).

4. 결론

붉은자루 동충하초의 용해도를 향상시키기 위해서 스크류 회전속도를 120-280 rpm로, 원료의 공급량을 4-14 kg/h로, 수분함량을 22-38%로, 다이 온도를 114-146℃로 변화시키면서 압출성형 시킨 후, 반응 표면 분석법을 이용하여 압출 압력, 기계적 에너지 소모율(SME), 밀도, 수분용해지수(WSI)의 관계를 분석하였다. 압출 성형한 붉은자루 동충하초 분말의 특성은 압출성형 후 분쇄한 시료(PE)와 건조 후 분쇄한 시료(PD)의 수분용해지수, 지방산 성분, 항산화 효과(DPPH 방법)를 측정하여 비교하였다. 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 반응표면 분석법을 실시 하여본 결과, 시스템 변수에 대한 결정계수(R^2)는 0.9189-0.8011 범위를 나타냈으며, 시스템 변수 전체의 유의 확률(Prob>F)은 $P<0.05$ 로서 유의성을 보였다. 시스템 변수 중에서 압출압력은 온도, 수분함량, 원료 공급량, SME의 경우에는 원료 공급량과 스크류 속도에 큰 유의성을 나타냈다. 온도가 130℃ 이고 함수

율이 25% 일 때 압출 압력은 최적의 조건이었으며, SME는 원료 공급량이 10~12 kg/min 이고 스크류 속도가 200~250 rpm 범위에서 약 20 Wh/kg이었다.

- (2) 압출물 변수의 결정계수(R^2)는 0.8941-0.7387이었으며, 압출물 변수 전체의 유의확률은 $P<0.05$ 로서 유의성을 보였다. 압출물 변수 중에서 WSI는 수분함량과 온도에 큰 유의성을 나타냈으나, 밀도의 경우에는 유의성을 보이지 않았다. WSI는 온도를 120℃에서 140℃로 증가시 약 23%에서 약 30%까지 7%가 증가하였다.
- (3) 압출 성형한 붉은자루 동충하초 제품의 특성을 분석하기 위해 압출성형 분쇄한 시료와 건조 분쇄한 시료의 WSI, 지방산 성분, 항산화 효과(DPPH 방법)를 측정하였다. 붉은자루 동충하초의 WSI 를 측정 했을 때, 압출성형-미분쇄한 시료의 용해도가 공시재료 보다 약 26.97% 증가했으며 건조-미분쇄한 시료보다는 10% 더 증가 했다. 지방산 분석에서 건조-미분쇄한 시료가 가지고 있는 고유한 불포화 지방산의 함량은 83.31%이었고, 압출성형-미분쇄한 시료의 불포화 지방산의 함량은 82.78% 이었다. DPPH에 의한 산화억제 실험에서 400, 800(ug/ml) 경우 압출성형-미분쇄 시료가 건조-미분쇄 시료보다 산화 억제력이 1.67~2.2배 정도 향상되었음이 조사되었다.
- (4) 붉은자루 동충하초의 압출 성형공정은 유효성분의 변화 없이 용해도를 향상시킬 수 있었는데, 스크류의 형상 및 배열에 변화를 주어 전단력을 증가시켜서 압출 성형을 할 경우 현재의 연구보다 용해도를 더 향상시킬 수 있을 것이라고 사료된다.

참고문헌

1. 강위수, 김태웅, 김호경, 성재모, 양기숙. 2004. “붉은자루 동충하초 생리활성 및 산업화 연구에 관한 연구” 최종 연구보고서. 농촌진흥청. pp. 128-129.
2. 김동은, 성재모, 김태웅, 심태흠, 양승기, 강위수. 2003. 동방향 이축 압출 성형기를 이용한 붉은자루 동충하초 가공 연구. 강원대학교 농업과학연구소 논문집. 제 14호 49-58.
3. 김종태, 황재관, 조성자, 김철진, 김해성. 1996. 스크류 조합과 공정변수 조절에 따른 밀기울 압출물의 특성. 한국 식품과학회지, Vol. 28, No. 1.
4. 김지용, 김종태, 김철진. 1991. 옥분 압출 가공시 이축압출성형기의 System Parameters에 따른 압출물의 특성변화. 한국 식품과학회지, Vol. 23. No. 1.
5. 류기형, S.J Mulvaney. 1997. 탄산가스 주입에 의한 유제품 강화 옥수수 압출성형물의 성질과 기계적 에너지 투입량의 분석. 한국식품과학회지, Vol. 29, No. 5, pp. 947-954.

6. 신재철. 2003. 붉은자루 동충하초의 배양적 특성 및 인공 자실체 형성에 관한 논문. 강원대학교 대학원 석사학위 논문.
7. 신해현, 박보선, 이혜림, 최문정, 황재관. 2001. 반응표면분석법에 의한 전곡립의 압출성형공정 분석, 한국식품과학회지, Vol. 33, No. 6, pp. 686-692.
8. 성내경. 2000. SAS/STAT 회기분석 제 2판. 자유아카데미.
9. 성재모, 이현경, 유영진, 최영상, 김상희, 김용욱, 성기호. 1998. 단백질 분석을 기초로 한 Cordyceps속 동충하초의 분류. 한국 균학회, Vol. 26, No. 1.
10. 성재모. 1999. 동충하초의 생태와 분류. 한국 균학회.
11. 이기동, 이정은, 권중호. 2000. 식품공업에서 반응 표면분석의 응용. 식품과학과 산업, Vol. 33, No. 1.
12. 오세욱, 김선희, 송효남, 한대석. 2003. 동충하초 품종별 영양 성분 비교. 한국식품과학회지, Vol. 35. No. 1.
13. 황재관, 김종태, 홍석인, 김철진. 1994. 압출성형에 의한 식물 세포벽의 수용화. 한국영양식량학회지, 23(2), 358-370.
14. Anderson, R.A., Conway, H. F., Pfeifer, V. F. & Griffin Jr., E. J. 1969. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. Cereal Sci. Today 14.
15. Binoy K. Gogoi, Gour S. Choudhury & Aaron J. Oswalt, 1996, Effect of location and spacing of reverse screw and kneading element combination during twin-screw extrusion of starchy and proteinaceous blends. Food Research International. Vol. 29, Nos 5-6, 505-512.
16. G. Sacchetti, G.G. Pinnavaia, E. Guidolin, M. Dalla Rosa. 2004. Effects of extrusion temperature and feed composition on the functional, physical and sensory properties of chestnut and rice flour-based snack-like products. Food Research International 37, 527-534.
17. C. Mercier, P. Linko, Harper, J.M., 1989. Extrusion Cooking. American Association of Cereal Chemists, Inc., pp.1-16
18. Junjie Guan, Milford A. Hanna. 2003. Functional properties of extruded foam composites of starch acetate and corn cob fiber. Industrial crops and products, 1-15.
19. Narpinder Singh, Andrew C. Smith. 1997. A comparison of wheat starch, whole wheat wheat meal and oat flour in the extrusion cooking process. 1997. Journal of Food Engineering 34, 15-32.
20. Suvendu Bhattacharya. 1997. Twin-Extrusion of Rice-Green Gram Blend: Extrusion and Extrudate Characteristics. Journal of Food Engineering 32, 83-99.
21. Suvendu Bhattacharya, M.L. Sudha, A. Rahim.1997. Pasting characteristics of an extruded blend of potato and wheat flours. Journal of Food Engineering 40, 107-111.
22. S. Ilo, Y. Liu, and E. Berghofer. 1999. Extrusion Cooking of Rice Flour and Amaranth Blends. Lebensm.-Wiss. u-Technol., 32, 79-88.
23. Qing-Bo Ding, Paul Ainsworth, Gregory Tucker, Hayley Marson. 2004. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks. Journal of Food Engineering.
24. Thava Vasanthan, Jiang Gaosong, Judy Yeung, Jihong Li. 2002. Dietary fiber profile of barley flour as affected by extrusion cooking. Food Chemistry, 77 Page 35-40.
25. V.D. Miladinov, M.A. Hanna, 2000, Starch esterification by reactive extrusion, Industrial Crops and Products 11 51-57.