

CO₂를 이용한 초임계 유체 추출과 초고압 전처리 공정의 복합공정을 사용한 대두 분말의 대두유 추출 수율 최적화

엄주태 · 김남균 · 이윤주 · 윤원병*

강원대학교 식품생명공학과, 강원대학교 농업생명과학연구원

Optimization of Yield of Extracting Oil Components from Soy bean Powder using Supercritical Carbon Dioxide Fluid and High Pressure Process

Joo-Tae Uhm, Nam-Gyun Kim, Youn-Ju Lee, and Won-Byong Yoon*

Department of Food Science and Biotechnology, Kangwon National University
Agriculture and Life Science Research Institute, Kangwon National University

Abstract

Response surface methodology (RSM) was applied to determine the optimum operating conditions to maximize the yield of oil components from the soy bean powders using a novel combined process of a supercritical CO₂ fluid extraction (SCFE) with a high pressure process (HPP) as a pretreatment. The optimization of the combined process was conducted with two steps: 1) determining the optimum conditions for maximizing the yield under the SCFE, and 2) determining the optimum conditions for HPP at the optimum operating conditions of SCFE determined from the step 1. Central composite design was applied for both steps of optimization. The process variables for SCFE were ranged from 200-400 bar, 40-70°C, and 20-40 g/min) for the pressure of extraction vessel, temperature, and mass flow rate, respectively. In addition the process variables for HPP were the applied pressure (100-400 MPa) and the applied time (5-25 min). The maximum yield from SCFE was 25.88% at 468.18 bar, 80.23°C, and 46.82 g/min. The optimum operating conditions of HPP in the combined process was predicted to be 462.13 MPa and 1 min. for 24.91% of yield. The yield of the combined process was lower than that of SCFE. It might be because of the increase of particle size due to the agglomeration after applying HPP.

Key words: optimization, soybean powder, supercritical fluid extraction, high pressure processing, agglomeration

서 론

대두유는 약 85%의 불포화지방산, 14%의 포화지방산 및 기타의 미량성분으로 구성되는 혼합물이다(Gunstone et al., 1986). 대두유는 식용유로 주로 이용되나 수소 첨가에 의하여 마가린이나 쇼트닝의 제조에도 활용된다. 대두유의 추출공정은 일반적으로 원두의 flake화를 전처리 공정으로 사용하여 수율을 향상시키며, 표준화된 대두유 추출공정이 적용되고 있다. 반면 최근 급증하고 있는 대두분말의 가공에 있어서는 일반적으로 사용되는 원두의 표준화된 추출공정과 동일한 공정을 적용시키기가 매우 어렵다. 이는 분말

상의 대두분말이 가지는 특징들이 추출공정 및 기타 전·후 처리 공정에 영향을 주기 때문이다. 대두분말을 이용한 대두유 추출공정은 Uhm & Yoon(2011), Yoon(2011), Uhm et al.(2012), Uhm & Yoon(2012)이 보고한 것과 같이 대두의 분말상의 특징과 적용되는 가공방법에 따른 수율과 품질 변화가 원두를 사용하는 경우와 매우 다르며, 이 같은 차이를 고려한 표준화된 가공공정은 아직 보고되지 않고 있다.

식물성 유지는 유량증가를 유기용매 추출 또는 압착에 의해 생산하는 것이 널리 알려진 방법이다. 그러나 이러한 추출방법은 잔류용매의 문제와 구득수율이 적은 한계 때문에 현재 여러 다른 추출방법이 개발되었고, 그 중 하나는 초임계 유체 추출법이다(Wieke, 1978; Kim & Yoon, 1991). 초임계 추출법은 가스의 임계온도와 압력 이상의 조건에서 초임계 유체를 만들어 이 유체를 이용해 추출하는 방식이다. 주로 CO₂ 가스를 사용하는데 상대적으로 낮은 임계온도(31.1°C)와 임계 압력(73 bar)을 가지고 있기 때문에 널리 사용되고 있다. 또한 CO₂는 다른 기체에 비해 저렴하

*Corresponding author: Won-Byong Yoon, Department of Food Science and Biotechnology, Kangwon National University, 1 Kangwon-daehak-gil, Chuncheon-si, Gangwon-do, 200-701, Republic of Korea
Tel: +82-33-250-6459; Fax: +82-33-241-0508
E-mail: wbyoon@kangwon.ac.kr

Received December 12, 2012; revised February 20, 2013; accepted February 21, 2013

고 고순도, 무독성, 비부식성, 비가연성, 그리고 쉽게 사용할 수 있는 장점이 있다. 또한 상온에서 기체 상태로 존재하여 분리되기 때문에, 잔존용매의 문제를 해결할 수 있어 친환경 공법으로 대두되고 있는 추출공법이다(Brogie, 1982; Yoon, 2011). 그러나 초임계 유체를 이용해서 추출할 경우 유기용매로 추출하는 경우보다 수율이 낮은 것이 단점으로 제기되고 있다(Hong et al., 1990).

Ola & Sabo(2012)는 tiger nut oil의 초임계 추출공정에서 추출온도, 압력 및 시간을 조절하여 측정된 수율을 비교하여 표면반응분석(RSM)을 통해 최적 추출조건을 찾아내었다. 마찬가지로 추출온도, 압력, 시간을 변수로 하여 RSM의 중심합성법을 통해 실험조건을 확립한 후 초임계 추출공정의 최적점을 찾아 *Passiflora seed oil*의 추출공정을 최적화 할 수 있음을 설명하였다(Gholarmreza & Abbas, 2011). Sonsuzer et al.(2004)는 추출온도, 압력, 시간을 변수로 하여 Box Benken법을 통해 실험점을 설정하여 *Thymbra spicata oil* 추출 공정을 최적화 할 수 있음을 제안하였다. Da Porto et al.(2012)는 hemp seed의 유지 추출공정에서 초임계 공정변수를 입자도, 압력, 온도로 설정하여 3³ full factorial design을 설계하여 추출공정을 최적화 하였다. Xu et al.(2008)은 sea buckthorn oil을 초임계 공정을 통하여 추출할 때 추출압력, 온도 CO₂ flow rate, 추출시간을 변수로 하여 RSM을 통해 최적 추출조건을 제시하였다. 이와 같이 여러 추출변수를 바탕으로 초임계 추출법을 이용한 최적화 연구는 지속적으로 보고되어 왔다.

초고압 처리기술은 100-1000 MPa의 압력을 이용하여 압력 매체로 물이나 오일을 이용하여 압력을 순간적으로 균일하게 시료에 전달시켜 시료내의 물리적 생화학적 환경에 변화를 일으켜 살균과 추출 등에 영향을 주는 단위 공정이다. 초고압 처리기술은 비가열적인 효과로 인한 친환경적인 공법으로 대두되고 있다(Lee & Choi, 2008). 일반적으로 초고압 하에서 시료의 세포막이 파괴되어 세포 안으로 용매가 들어가 보다 많은 성분이 세포 밖으로 쉽게 용출되어 나오므로 추출속도와 수율을 향상시키는 것으로 추정하고 있다(Kim et al., 2007).

Yoon(2011)은 초임계 추출법을 이용한 대두유 추출에서 초고압 처리 후의 추출 수율은 처리전과 비교하여 낮은 값을 가지고 있으나 90%의 신뢰도 아래서 유의차가 없는 유사한 결과를 보여주었고, 초임계가 변수조절 없이 초고압 상태에서 수율이 저하될 수 있음을 확인하였다. 이와 같이 대두의 유지의 초임계 추출공정에서 초고압공정 조건에 의한 영향이 존재하는지에 대한 연구와 최적화 기법을 적용한 해석이 필요하다.

본 연구에서는 초고압 공정을 초임계 유체 추출의 전처리 공정으로 포함한 복합공정의 설계를 목표로 하였으며, 초임계 유체의 최적조건을 도출하여 최적화된 초임계 공정에 적합한 초고압 공정 조건을 찾고자 하였다.

재료 및 방법

실험 재료

국산 대두는 대형마트에서 백태를 구입, 오염물을 분리·제거한 후 질소 포장하여 실온에 보관하면서 추출용 시료로 사용하였다. 대두는 분쇄기(FM-909W, Hanil electric, Seoul, Korea)를 이용하여 200 g을 10 초 동안 분쇄한 시료를 이용하였다.

입자도 분석

분말화 된 대두입자의 크기는 입도분석기(Masterizer 2000, Malvern Instruments Ltd., Worcestershire, UK)를 이용하여 측정하였다. 입자의 표면적은 상대적으로 동일한 부피를 지니기 위한 표면적의 증가량을 기술하였다. 초고압 전처리 후의 입자도는 입자의 뭉침 현상으로 인해 기계적으로 측정하지 못해 분쇄물의 입자크기를 계산하기 위해 체(10, 14, 16, 18, 30, 40, 60, 100 mesh)를 sieve shaker(CG-211-8, Chunggye, Seoul, Korea)에 설치하여 10분간 진동을 주어 분리한 후 입자크기 별로 시료를 나눈 뒤 그 양을 측정하여 식(1)로 최종입자크기를 계산하였다(Walde et al., 2002).

$$L_2 = \sum_{i=1}^n \phi_i d_i \quad (1)$$

L_2 는 분쇄 후 최종 입자크기, ϕ 는 d 의 mesh 크기를 가진 체를 통과한 분쇄물의 질량분율, d_i 는 mesh의 평균 size이다. 평균 mesh 크기가 d_i 인 체에 남아있는 분쇄물의 질량분율과 평균 mesh크기를 곱한 값의 합으로 최종 입자크기를 계산하였다.

Image analysis

초고압 전처리를 하지 않은 대두 분말과 전처리 후의 대두 분말의 형태적 차이를 알아보기 위하여 디지털 카메라(EOS-500D, Canon, Tokyo, Japan)를 사용하여 획득한 영상을 Matlab(V7.12, MathWorks, Natick, USA)를 이용하여 Equalization을 통하여 밝은 색과 어두운 색의 대비를 증가시켜 입자를 더 선명하게 나타나도록 하였다. 노이즈 제거 이후 RGB 영역의 색을 HSV(Hue Saturation Value)영역으로 변환하여 H(색조), S(채도), V(명암)으로 분리한 후 색조영상을 개체인식을 통하여 입자의 크기에 대해 비교할 수 있도록 붉은색으로 표시하였다.

실험계획 및 반응표면분석(RSM)

초임계 추출의 최적조건을 도출하기 위해 반응표면분석(RSM)에 적합한 중심합성법(central composite design)에 따라 실험을 설계하였다. 독립변수(X_n)로는 추출압력(X_1), 추출온도(X_2), CO₂ 유량(X_3)을 설정하였으며, 반응변수(Y_n)

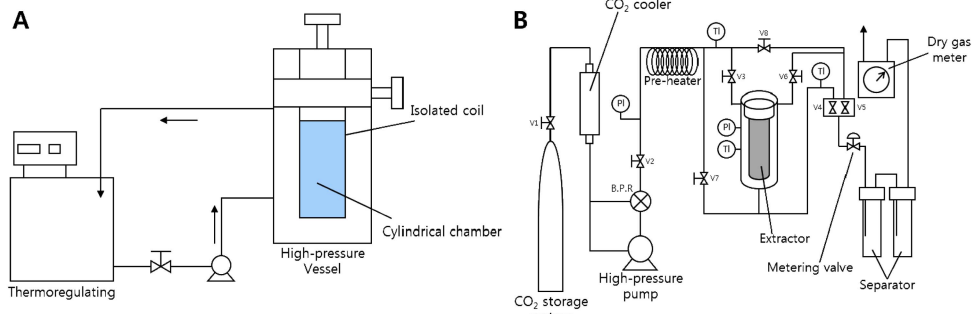


Fig. 1. Schematic diagram of the high pressure process equipment (A), and the supercritical carbon dioxide extraction equipment (B).

는 추출수율(Y_1)로 하였다.

초고압 전처리 공정과 초임계 공정의 복합공정의 설계와 최적화를 위하여 초임계 추출공정의 최적 조건을 RSM으로 도출한 후 초임계 공정의 공정변수를 초고압 처리시의 압력(X_1), 처리시간(X_2)으로 반응변수(Y_1)는 추출수율(Y_1)로 설정하여 2차 RSM으로 실험계획 및 최적화를 수행하였다.

$$\text{Yield of Extraction}(\%) = \frac{\text{Weight of Extraction (g)}}{\text{Weight of soy powder (g)}} \times 100 \quad (2)$$

SAS 통계 프로그램(V9.3, SAS Institute, NC, USA)을 사용하여 다중회귀분석하고 반응변수에 대한 모델을 추정하여 이를 다항회귀모형식으로 변환하였다. 또한 추출수율과 추출조건을 최적화 시키기 위한 추출수율에 대한 추출조건을 다중회귀분석, 분산분석, F검정 및 t검정을 하여 종속 변량의 최적화를 확인하였고 반응표면분석에 의한 최대 정상점을 구하였으며, contour plot과 3-D plot을 통하여 추출조건을 최적화를 실시하였다.

초임계 유체 추출

초임계 유체 추출은 초임계 유체 추출장치(SFE standard model, Thar Technologies, NY, USA)를 이용하였다(Fig. 1B). 추출 조건은 추출압력(200-400 bar), 온도(40-60°C), 유량(20-40 g/min)을 독립변수로 선정하여 중심합성법에 따라 설계된 실험과 RSM을 통한 최적조건에서 초고압 처리 후의 시료를 초고압 압력과 시간을 독립변수로 선정하여 중심합성법에 따라 설계된 실험을 실시하였다. 각 시료는 1 시간동안 추출하였으며, 1 회 추출에 50 g의 대두분말의 사용하였으며, 보조용매는 사용하지 않았다.

초고압 전처리 후 수율평가

본 실험에서 초고압 처리기(WIP-72-350-5.6K, Ilshin Autoclave, Daejeon, Korea)를 이용하여 초고압 전처리를 실시하였다(Fig. 1A). 전처리 조건은 RSM에 따라 38, 100, 250, 400, 462 MPa 압력에서 1, 5, 15, 25, 29 분동안 초고압 처리하였다. 전처리 조건의 대와 최소치는 선행실험과

문헌을 통하여 설정하였다(Uhm & Yoon, 2011). 분말화된 대두를 진공포장을 한 후 물을 압력의 매질로 활용하여 초고압 처리를 하였다. 초고압 처리한 시료를 초임계 유체 추출법을 이용하여 유지성분을 추출하였다.

결과 및 고찰

초임계 추출조건에 따른 수율 변화

초임계 추출의 최적조건을 설정하기 위하여 각 추출조건 별로 측정된 결과는 Table 1과 같다. 초임계 추출수율은 식(2)를 사용하여 계산하였다. 추출압력과 추출온도, CO₂ 유량을 달리한 20 가지 조건에서 대두분말의 유지 추출함

Table 1. Yield from soybean powder using supercritical fluid extraction conducted according to the central composite design.

Exp. No.	Extraction condition			Response
	Pressure (bar)	Temp. (°C)	Flow rate (g/min)	Yield (%)
1	200	40	20	11.55
2	400	40	20	15.10
3	200	70	20	6.11
4	400	70	20	17.87
5	200	40	40	14.38
6	400	40	40	18.34
7	200	70	40	10.66
8	400	70	40	22.81
9	131	55	30	4.23
10	468	55	30	17.98
11	300	29	30	16.32
12	300	80	30	20.67
13	300	55	13	11.90
14	300	55	46	22.09
15	300	55	30	20.18
16	300	55	30	19.02
17	300	55	30	19.06
18	300	55	30	18.37
19	300	55	30	18.62
20	300	55	30	19.05

Table 2. The second order polynomial model for the yield from soybean powder using supercritical fluid extraction at different conditions of pressure, extraction temperature, and CO₂ flow rate.

Dependent variable (Y _n)	The second order polynomial	R ²	Pro>F
Total yield (%Y ₁)	$Y_1 = -13.1911 + 0.1403X_1 - 0.3836X_2 + 0.7453X_3 + 0.0014X_1X_2 - 0.0003X_1^2 - 0.0084X_3^2$	0.9680	<0.0001

량은 4.23-22.81%의 범위로 400 bar, 70°C, 40 g/min 추출 조건에서 가장 높았으며, 131 bar, 55°C, 30 g/min 추출조건에서 가장 낮은 함량이었다.

이를 바탕으로 추출조건에 대한 반응표면분석을 통한 회귀식의 결정계수(R²) 및 유의성은 Table 2에 나타내었다. 2차원 polynomial 식으로 선형항, 2차항, 교호작용의 항을 포함한 full quadratic model에서 backward stepwise법으로 유의미한 항만을 선별하여서 최종 모델을 도출하였다. 유지 추출수율에 대한 RSM의 R²은 0.9611으로 유의확률 0.0001 이하로 높은 신뢰도를 나타내었다.

3 가지 추출조건 중 유량의 증가가 매우 유의미하며 온도는 오히려 수율의 감소에 영향을 주는 것을 알 수 있었다. 추출압력은 양의 관계를 보이나 유량에 비하여 증가가 매우 낮은 것을 알 수 있었다. 추출압력과 유량의 증가는 2차항에 의하여 음으로 작용함으로 증가하는 선형식에서 감소하는 정도를 나타내고 있다. 음의 증가를 보인 온도는 압력과의 교호작용을 고려할 때 양의 증가를 보여주는 것을 알 수 있었다. 추출압력의 증가는 초임계 유체 추출법에서 가장 중요하게 고려해야 할 변수임을 확인하였다.

유도된 모델에 의한 최적조건은 468.18 bar, 80.23°C, 46.82 g/min 추출조건에서 최대값 25.88%를 갖는 것으로 예상되었다. 대두유 최적조건 유도를 위한 RSM 실험을 통하여 유도된 최적조건인 468.18 bar, 80.23°C, 46.82 g/min 추출 조건에서의 추출 수율에 관한 실증 실험 결과 25.29 (±1.29)%로 측정되었으며, 이는 모델에서 계산된 수율과 유사한 값을 보여 주었다. RSM에 의한 등고선도는 Fig. 2와 같다. 전반적으로 대두유 추출 수율은 압력이 높을수록, 유량이 빠를수록, 온도가 낮을수록 수율이 높게 나오는 경향을 보였다. 대두유 추출수율은 본 연구에 적용된 추출조건에 비해 추출압력, 유량이 더 높아지고 추출온도가 낮아지면 수율이 더 증가될 수 있을 것이라 예상된다. Azevedo

et al.(2008)에서 압력의 범위가 15.2 MPa에서 35.2 MPa로 증가되었을 때, green coffee oil의 추출수율이 향상되는 것을 알 수 있었다. Matthus & Brhl(1999)에서 CO₂의 유량이 증가할수록 oil 추출량이 증가하는 경향을 나타내었다. Ahmed et al.(2012)에서 Algerian Rosemary essential oil의 초임계 추출에서 추출변수로 이용된 압력, 온도의 변화에 따른 수율은 추출 압력이 증가할수록 유의미하게 수율이 증가하는 경향을 나타내었고, 추출온도가 증가할수록 유의미하게 수율이 감소하는 것을 알 수 있었다.

초고압 전처리 조건에 따른 초임계 추출수율의 변화

핵심공정인 초임계 추출공정의 최적조건을 Fig. 2에서 도출하였으며, 이에 따라 복합공정인 초고압 전처리 공정의 최적화를 진행하고자 초임계 유체 추출공정의 최적조건(468.18 bar, 80.23°C, 46.82 g/min)에 초고압 전처리 공정을 적용하여 시료의 수율을 측정하여 최적 복합공정을 도출하고자 하였다. 초고압 전처리의 최적조건을 설정하기 위해 전처리 조건별로 초임계 추출을 통하여 수율을 측정한 결과를 Table 3에 나타내었다. 수율은 17.25-23.66%의 범위로 38 MPa, 15 분의 추출조건에서 가장 높은 추출 수율을 나타내었고, 400 MPa, 25 분에서 가장 낮은 추출 수율을 나타내었다. 초고압 전처리 공정에 대한 반응표면분석을 통한 회귀식의 R² 및 유의성은 Table 4에 나타내었다. 초임계 최적화 공정과 동일한 full quadratic model과 backward stepwise 방법으로 유의미한 항만을 선별하여 최종 모델을 도출하였다. 초고압 전처리를 통한 초임계 추출 수율에 대한 회귀식의 R²은 0.7431, 유의확률은 0.0478로 유의미한 차이를 나타내지 않았다. 최적조건은 462.13 MPa, 1 분의 추출조건에서 정상점은 최대값으로 24.91%가 예측되었다. 대두유 초고압 전처리 조건에 따른 최적조건으로 유도된 462.13 MPa, 1 분에서의 추출 수율에 관한 실증실험 결과

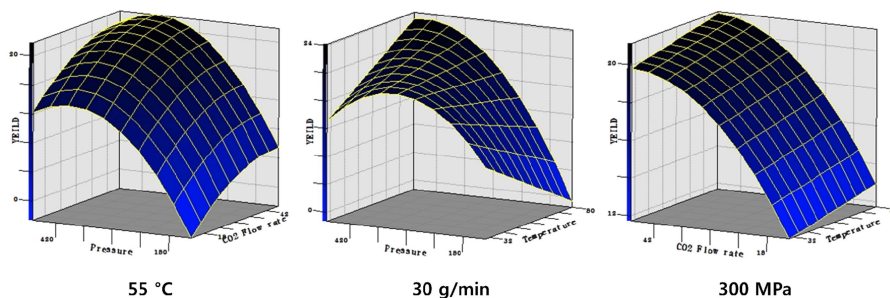
**Fig. 2. Contour plots of response variables for extraction pressure, temperature, and flux of fluid in the supercritical fluid extraction for soybean powders.**

Table 3. Yield from soybean powder after applying the combined process of supercritical fluid extraction with the high pressure process (the experimental points were designed according to the central composite design).

Exp. No.	Extraction condition		Response
	Pressure (MPa)	Time (min)	Yield (%)
1	100	5	22.68
2	400	5	23.16
3	100	25	23.08
4	400	25	17.25
5	38	15	23.66
6	462	15	22.34
7	250	1	22.48
8	250	29	21.03
9	250	15	22.44
10	250	15	21.81
11	250	15	22.51
12	250	15	20.75
13	250	15	23.60

22.59(±2.8)%으로 측정되었다. 이는 모델의 추출 수율 범위인 24.92%의 범위 밖의 수치를 나타내지만 RSM 실험 설계를 통한 모델링의 R²값이 낮아 초고압 전처리 공정에 의한 추출 수율 증대에 대한 유의미한 의미는 없다.

대두유 초고압 전처리에 따른 RSM 실험계획에 의해 표현된 등고선도(Fig. 3)는 일정한 패턴이 나타나지 않았다. 이것은 평균 수율이 22.06%로서 공정변수간의 효과에 따른 수율의 차이가 크지 않아 나타난 현상임을 알 수 있다. 초고압-초임계 복합공정을 실시한 초임계 유체 추출의 평균 수율은 초고압 전처리 공정을 적용하지 않은 단일 초임계공정의 최고 수율보다 낮음을 보여주었다.

입자도 분석과 비교

초고압 전처리 공정과 초임계 공정의 복합공정 최적화를 통하여 초고압 전처리가 초임계 추출에서 공정수율 향상에 효과가 없음을 보여주었으며, 이에 따른 원인을 분석하고자 추출 시에 적용된 입자 분석을 실시하였다. 초임계 추출에 적용된 분말의 평균입자 크기는 입도 측정기를 이용하여 측정하였을 때 237.102 μm로 나타났다. 같은 방법으로 초고압 전처리를 거친 분말의 입자크기를 분석하려 하였으나 초고압 처리에 의해 분말간 agglomeration에 의한 뭉침현상이 생겨 입도 측정기의 측정방법인 laser deflection 방법에서 요구하는 크기를 충족하지 못하여 측정이 불가능하였다. 입도 측정기에 의한 측정이 불가능 하여 image

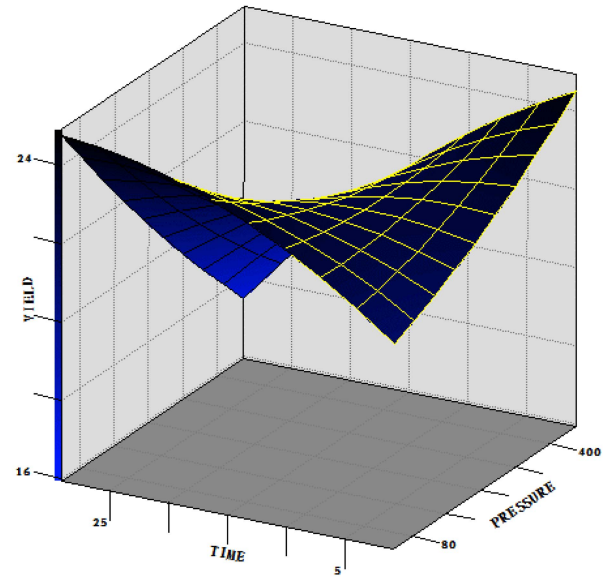


Fig. 3. Contour plots of response variables for the applied pressure and time for high pressure process.

analysis를 통해 RGB 영역의 색을 HSV 영역으로 변환한 후 외곽선 추출을 통하여 대략적인 입자크기를 비교하였다 (Fig. 4). 초고압 과정을 거친 입자는 매우 불규칙한 크기를 보여주고 있어, 입자간의 구별이 명확하지 않아 개체 인식을 통해 입자간의 대략적인 크기만을 비교가 가능하였으며, 사진 판독결과 초고압 대두분말의 입자 크기 분포가 일반 대두분말의 입자보다 크게 형성되어 있는 것을 알 수 있었다. Image analysis로 입자 크기의 직접적인 측정이 불가능하여 체를 이용하여 체의 분리물의 무게비를 이용하여 평균입자크기를 측정하는 방법을 사용하였다(식(1)). 체 분석 결과 초고압 대두 분말의 입자크기는 685.180 μm로 측정되었다. 입자크기가 초고압 전처리 이전보다 약 3 배 증가하였는데 agglomeration에 의한 뭉침현상으로 입자의 크기가 변화된 것을 알 수 있다. 이 같은 입자크기의 급격한 증가는 초임계 추출시의 유체의 흐름에 대한 많은 저항을 가져오고 vessel내 시료의 전체 표면적을 급격히 감소시키므로 초임계 유체의 확산에 의한 추출을 저하한 것으로 추정된다.

초고압 전처리를 통한 대두유 수율 향상은 Uhm & Yoon(2011)에 의하여 보고된 바 있으나, 이때 유기용매에 의한 shaking 과정에 의하여 초고압으로 뭉쳐진 입자가 추출과정 중에서 shaking에 따른 용매와 입자간의 충돌로 다

Table 4. The second order polynomial model for the yield from soybean powder after applying the combined process of supercritical fluid extraction with the high pressure process.

Dependent variable (Y_n)	The first order polynomial	R ²	Pro>F
Total yield (%), Y_1	$Y_1=20.7050+0.0058X_1+0.3011X_2-0.0011X_1X_2+8.011 \times 10^{-6}X_1^2-0.0044X_2^2$	0.7431	0.0478

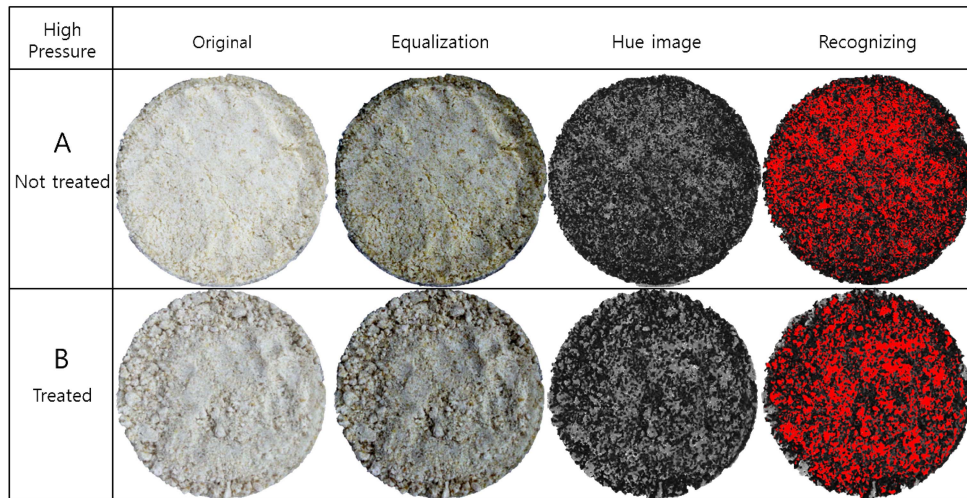


Fig. 4. Segmentation image of soybean powder samples based on histogram range before (A) and after (B) applying high pressure process.

시 분리되었기 때문에 추론된다. 반면 Da Porto et al. (2012)는 hemp seed의 초임계 추출공정에서 공정변수를 입자도, 압력, 온도로 설정하여 최적화 한 결과 입자도가 작을수록 더 높은 수율이 나오는 것을 알 수 있었다. Yoon(2011)의 초고압 과정을 거친 초임계 추출의 복합공정에는 초고압을 거치지 않은 초임계 추출에 비하여 낮은 수율을 보여주었으며, 이는 본 연구의 결과와 동일한 결과이다. 이는 초임계 추출의 특징인 초임계 유체의 확산력이 일정한 입자도 이하에서는 초고압 처리에 의한 내부저항의 경감된 정도보다 우수하기 때문인 것으로 결론 낸 것과 같은 이유로 인하여 일어난 현상으로 보여진다.

요 약

본 연구에서는 초임계 CO₂ 추출법을 이용하여 공정변수가 대두유의 수율에 미치는 영향과 초고압 처리가 초임계 추출에 미치는 영향에 대하여 분석하였다. RSM 실험법을 통한 최적화 실험에서 468.18 bar, 80.23°C, 46.82 g/min의 조건에서 최대값 25.88%를 나타내었다. 초임계 추출법의 최적추출조건에서 초고압 전처리 후 추출 수율은 17.15-23.66%로 전처리 전보다 감소하는 경향을 나타내었다. 462.13 MPa, 1 분의 추출조건에서 정상점은 최대값으로 24.91%가 예측되었다. 초고압 전처리 후 초임계 추출에서 수율이 증가하지 않은 이유는 초고압 전처리시 입자의 뭉침현상이 일어나 평균입자크기가 증가하여 나타난 현상으로 추론하였다. 결과적으로 초고압 전처리는 초임계 추출 수율 증가에 영향을 미치지 못하는 것을 알 수 있었다. 초임계 CO₂ 추출법을 이용하여 대두유를 추출할 경우 추출 압력, 유량이 높을수록 추출온도가 낮을수록 더 많은 양의 대두유를 추출할 수 있다.

참고문헌

- Ahmed Z, Abdeslam-Hassan M, Ouassila L, Danielle B. 2012. Extraction and modeling of Algerian Rosemary essential oil using supercritical CO₂: Effect of pressure and temperature. *Energy Procedia* 18: 1038-1046.
- Azevedo ABA, Kieckbush TG, Tashima AK, Mohamed RS, Mazzafera P, Vieira de Melo SAB. 2008. Extraction of green coffee oil using supercritical carbon dioxide. *J Supercrit. Fluid* 44: 186-192.
- Brogie H. 1982. CO₂ as a Solvent: Its Properties and Applications. *Chem. Ind., London, UK*, pp. 385-390.
- Da Porto C, Voinovich D, Decorti D, Natolino A. 2012. Response surface optimization of hemp seed (*Cannabis sativa* L.) oil yield and oxidation stability by supercritical carbon dioxide extraction. *J. Supercrit. Fluid* 68: 45-51.
- Gholamreza Z, Abbas A. 2011. Optimization of supercritical carbon dioxide extraction of *Passiflora* seed oil. *J. Supercrit. Fluid* 58: 40-48.
- Gunstone FD, Harwood JL, Padley FB. 1986. *The Lipid Handbook*. Chapman & Hall, London, UK. pp. 171.
- Hong IK, Rho SW, Lee KS, Lee WH, Yoo KP. 1990. Modeling of soybean oil bed extraction with supercritical carbon dioxide. *Korean J. Chem. Eng.* 7: 40-46.
- Kim CH, Kwon MC, Qadir SA, Hwang B, Nam JH, Lee HY. 2007. Toxicity reduction and improvement of anticancer activities from *Rhodiola sachalinensis* A. Bor by ultra high pressure extracts process. *Korean J. Medicinal Crop Sci.* 15:411-416.
- Kim IH, Yoon SH. 1991. Extraction of soybean oil using supercritical carbon dioxide and its characteristics. *Korean J. Food Sci. Technol.* 23: 677-682.
- Matthäus B, Brühl L. 1999. Comparison of a supercritical fluid extraction method for the extraction of oilseeds with the DGF standard method B-I 5(87). *Fett-Lipid.* 101: 203-206.
- Lee KJ, Choi SD. 2008. Application of biological industry using high hydrostatic pressure (HHP) system. *Korean J. Biotechnol. Bioeng.* 23: 362-368.

- Ola L, Sabo MA. 2012. Extraction of oil from tiger nut (*Cyperus esculentus* L.) with supercritical carbon dioxide (SC-CO₂). LWT - Food Sci. Technol. 47: 287-292.
- Sonsuzer S, Sahin S, Yilmaz L. 2004. Optimization of supercritical CO₂ extraction of *Thymbra spicata* oil. J. Supercrit. Fluid 30: 189-199.
- Uhm JT, Lee YJ, Lee SB, Kim JD, Lee OH, Yoon WB. 2012. Comparison of changes of lipid oxidation of soybean powders from Korea and East Russia at different packages. Food Eng. Prog. 16: 207-213.
- Uhm JT, Yoon WB. 2011. Effects of high-pressure process on kinetics of leaching oil from soybean powder using hexane in batch systems. J. Food Sci. 76: 444-449.
- Uhm JT, Yoon WB. 2012. Development of direct evaluation of the rancidity of soybean in powder form during storage using fluorescence spectrum test. Food Eng. Prog. 16: 47-51.
- Walde SG, Balaswamy, Velu V, Rao DG. 2002. Microwave drying and grinding characteristics of wheat (*Triticum aestivum*). J. Food Eng. 55: 271-276.
- Wieke G. 1978. Extraction with supercritical gases - A foreword. Angew. Chem. Int. Edit. Engl. 17: 701-702.
- Xu X, Gao Y, Liu G, Wang Q, Zhao J. 2008. Optimization of supercritical carbon dioxide extraction of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) oil using response surface methodology. LWT 41: 1223-1231.
- Yoon WB. 2011. Effects of particle size and high pressure process on the extraction yield of oil compounds from soybean powder using hexane and supercritical fluid. Food Eng. Prog. 15: 203-208.