

## 초임계유체 CO<sub>2</sub>를 이용한 참깨박 중 참기름 추출의 최적화

김성주 · 김영중 · 장규섭\*  
 충남대학교 식품공학과

## Optimization of Sesame oil Extraction from Sesame cake using Supercritical Fluid CO<sub>2</sub>

Seong-Ju Kim, Young-Jong Kim, and Kyu-Seob Chang\*

Department of Food Science and Technology, Chungnam National University

Overall experiments were planned by central composite design, and results were analyzed by response surface methodology (RSM) to determine effects of three independent variables, temperature ( $X_1$ ), extraction time ( $X_2$ ), and pressure ( $X_3$ ), on yield of sesame oil extract ( $Y$ ). Regression equation model optimized by response surface analysis was:  $Y$  (sesame oil) =  $-3.89 + 0.07X_1 + 0.03X_2 + 0.0006X_3 - 0.0007X_1^2 - 0.0002X_2X_1 - 0.00008X_2^2 + 0.000004X_3X_1 + 0.0000009X_3X_2 - 0.00000009X_3^2$ . According to RSM analysis, optimum extracting conditions of temperature, time, and pressure were 45.89°C, 131.89 min, and 34228.41 kPa, respectively, and statistical maximum yield of sesame oil was 96.27%. Fatty acid composition of sesame oil showed sesame oil extracted by Supercritical Fluid CO<sub>2</sub> contained lower levels of palmitic, stearic, and oleic acids and higher levels of palmitoleic and linoleic acids than commercial sesame oil. Commercial and extracted sesame oils were analyzed by electronic nose composed of 12 different metal oxide sensors. Obtained data were interpreted by statistical method of MANOVA. Sensitivities of sensors from electronic nose were analyzed by principal component analysis. Proportion of first principal component was 99.92%. All sesame oils showed different odors ( $p < 0.05$ ).

**Key words:** sesame oil, SFE, fatty acid, carbon dioxide, flavor, electronic nose

### 서 론

참깨는 참깨과(Pedaliaceae) 참깨屬(Sesamum)에 속하는 1년생 초목(*Sesamum indicum*)으로 그 종자가 식품으로 사용된다. 참깨의 원산지는 중앙아프리카로 약 6,000년 정도의 깊은 역사를 갖는 세계최고의 재배유량식물이며 이집트에서 중동, 인도, 중국을 거쳐 우리나라에는 삼국시대 이전에 들어온 것으로 학자들은 추정하고 있다. 언제부터 조미료로서 사용되었는지는 확실한 기록은 없으나 고대 오리엔트에서 착유 기름을 등유용으로 이용하기 위해서 재배하였다고 한다. 중국에서는 약 2천년 전에 나온 「신농본초경」에 이미 참깨는 곡류 중에서 상품으로 기록되어 있다(1).

우리 나라에서는 기름을 착유하여 조미 식용유로 이용하거나, 통깨를 깨소금이나 라면 스프로 이용하는 등 주로 식용으로 이용하고 있다. 참깨의 단백질과 기름을 함께 이용하는 경우는 깨강정, 깨죽, 떡고물, 제과 등에 쓰이며 깻묵은 사료, 비

료로 쓰인다.

참깨의 주용도는 식용이지만 종실에 각종 영양성분이 풍부하게 함유되어 있기 때문에 영양식품으로서의 가치도 높고 평가된다. 주요 영양성분으로는 지질, 단백질, 당질 등을 포함하고 있으며, 그 외에도 칼슘, 인, 아연, 철 등의 무기질과 비타민 B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, 니아신, 불포화지방산인 올레인산과 리놀레산, 필수 아미노산인 루이신과 글루타민산을 함유하고 있어 유지자원으로써 매우 중요하며 기름은 온화하고 특유한 향미를 가진다. 뿐만 아니라 리그난 성분인 세사민(0.3% 내외)과 세사몰린(0.2% 내외)을 함유하여 장기간 저장에도 쉽게 산패가 일어나지 않는다(2,3).

이와 같이 참깨의 기능성과 용도는 식품으로서 상당한 가치를 지니고 있다. 참깨로부터 참기름의 추출법에는 압착법이 대부분이고, 일부 용매에 의한 추출이 이루어지고 있으나, 용매에 대한 위험성과 소비자들의 거부감으로 인해 그 이용이 미미한 실정이다. 현재 많은 비율을 차지하는 압착법의 경우 폐자원인 참깨박이 발생하지만, 그 이용방법에 대한 연구는 미비한 실정이다.

초임계유체를 이용한 추출법은 물질의 기상과 액상의 상경계 지점인 critical point 이상의 압력과 온도를 설정해 줌으로써 액상의 용해력과 기상의 확산계수와 점도의 특성을 지나게 함으로서 신속한 추출과 선택적 추출이 가능하게 하는 방법이

\*Corresponding author: Kyu-Seob Chang, Department of Food Science and Technology, Chungnam National University, 220 Gung-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-764, Korea  
 Tel: 82-42-821-6727  
 Fax: 82-42-821-8897  
 E-mail: changks@cnu.ac.kr

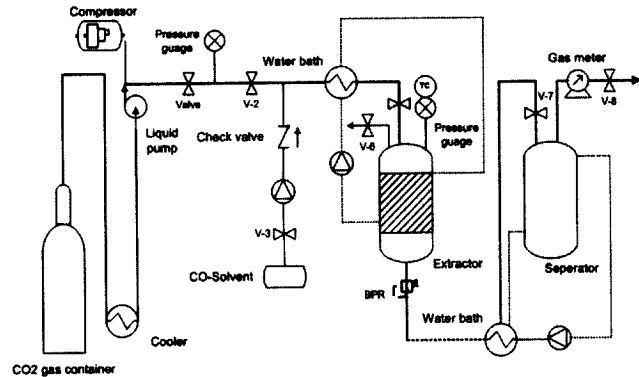


Fig. 1. Supercritical fluid extraction equipment.

다. 또한 초임계유체는 주로 이산화탄소 혹은 이산화탄소와 미량의 보조용매로 형성하기 때문에 용매추출법에 비해 유해성 용매의 잔존위험이 없을 뿐만 아니라 상온부근에서 추출조작이 이루어질 수 있기 때문에 천연물 또는 식품과 같이 열에 민감한 물질의 추출에 유용한 방법이다. 따라서 초임계유체 CO<sub>2</sub>를 이용한 참깨박으로부터 oil 추출에 관한 연구를 수행 시 폐자원을 이용한다는 측면에서 높은 부가가치를 올릴 수 있으며, 초임계유체의 특성을 고려 시 인체에 무해하면서도, 우수한 향기성분과 높은 수율의 참기름을 추출 할 수 있을 것으로 기대된다.

### 재료 및 방법

#### 재료 및 시약

본 실험에서 사용한 참깨박은 인도산 참깨로 압착 착유 후 발생하는 1차 참깨박을 cutter mill(Super mill 1500 series, Newport Co., Australia)로 분쇄하여 355 μm(No. 45) sieve로 체질한 후 aluminum bag에 밀봉한 상태로 -20°C 냉동 보관하면서 공시재료로 사용하였다. 본 실험의 추출용매는 특급시약 또는 HPLC grade를 사용하였다.

Table 1. Codes of levels for independent variables

Variables	Symbols		Levels	
	uncoded	coded	uncoded	coded
Temperature	T (°C)	X <sub>1</sub>	35	-2
			45	-1
			55	0
			65	1
			75	2
Extraction time	E (min)	X <sub>2</sub>	30	-2
			60	-1
			90	0
			120	1
			150	2
Pressure	P (kPa)	X <sub>3</sub>	15092	-2
			19894	-1
			24696	0
			29498	1
			34300	2

#### 초임계 이산화탄소에 의한 추출

실험에 사용한 초임계유체 추출 장치의 모식도를 Fig. 1에 나타냈으며, 추출장치는 추출조, 분리조, 가압펌프로 구성되어 있다. 추출조(Erie, HIP Inc., USA), 가압펌프(Burbank, Haskel Co., USA), 압력조절기(Erie, HIP Inc., USA), 압력측정기(Erie, MacDiniel controls Co., USA), 고압용관 등을 수입하여 조립한 것을 사용하였다.

추출조(extractor)에 참깨박을 각각 50g씩 채운 다음, 온도조절기와 가압펌프에 의해 제어되는 추출온도(오차±0.5°C)와 압력(오차±690 kPa)을 설계한 실험조건 Table 1에 따라 조정하였다. 추출조를 통해 참기름을 용해한 초임계 이산화탄소는 micro-metering valve를 통해 분리조(separator)에서 기체 이산화탄소와 용질로 분리되며, 분리조로부터 추출된 참기름을 회수하여 정량분석을 실시한 후 -20°C에서 냉동 보관하면서 분석을 실시하였다.

Table 2. Experiment combinations according to codes of experimental design at various extraction conditions of temperature, extraction time, and pressure

Treatment	T (°C)	E (min)	P (kPa)	Actual parameters		
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Temperature (°C)	Extraction time (min)	Pressure (kPa)
1	-1	-1	-1	45	60	19,894
2	-1	-1	1	45	60	29,498
3	-1	1	-1	45	120	19,894
4	-1	1	1	45	120	29,498
5	1	-1	-1	65	60	19,894
6	1	-1	1	65	60	29,498
7	1	1	-1	65	120	19,894
8	1	1	1	65	120	29,498
9	0	0	0	55	90	24,696
10	0	0	0	55	90	24,696
11	-2	0	0	35	90	24,696
12	2	0	0	75	90	24,696
13	0	-2	0	55	30	24,696
14	0	2	0	55	150	24,696
15	0	0	-2	55	90	15,092
16	0	0	2	55	90	34,300

### 반응표면분석 및 실험 설계

최적 추출 조건을 도출하기 위한 반응표면분석에 적합한 실험 계획을 중심 합성 설계법(central composite rotational design)에 따라 설계하였다. 추출 영향 인자인 추출조(extractor)내의 추출온도, 추출시간, 추출압력을 주요 독립 변수로 설정하여, Cochran과 Cox(4)가 연구한 실험설계법에 따라 조합하였다. 조합된 실험구는 총 16구이며, 독립변수인  $X_1$ (추출온도),  $X_2$ (추출시간),  $X_3$ (추출압력)가 종속변수인  $Y$ (참기름의 추출 함량)에 영향을 주는 요인으로 가정하여 실험 모델을 Table 1, Table 2와 같이 설정하였다. 실험을 통해 얻어진 값들은 Statistical Analysis System 소프트웨어(SAS Institute Inc., USA)를 이용하여 반응표면분석(RSM)을 실시하였다.

초임계유체 추출을 최적화 하기 위해 3개의 독립변수( $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ )로 추출온도와 추출시간, 추출압력을 선정하고, 종속변수( $Y$ )로 참기름 함량을 선택하였을 때, 반응변수에 대한 기본 model을 Cochran과 Cox(4)가 제안한 Second order Designs에 의해서 다음과 같이 가정하였다.

$$Y_u = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3$$

이때,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$ 는 1차 선형효과(linear term),  $\beta_{11}$ ,  $\beta_{22}$ ,  $\beta_{33}$ 은 2차 곡선효과(squared term)를  $\beta_{12}$ ,  $\beta_{13}$ ,  $\beta_{23}$ 은 교호작용(cross-product term)의 계수를 의미한다.

### 참기름의 정량 분석

**Soxhlet에 의한 정량 분석:** 참깨박으로부터 soxhlet 장치를 이용하여 A.O.A.C.법에 따라 참기름을 추출하여 정량분석을 실시하였다(5). 초임계유체 추출 장치를 이용한 참기름 추출 시 추출장치의 pipe 내벽에 참기름이 잔류할 수 있으므로 이를 보완하기 위해 extractor 내에 추출이 끝난 참깨박 시료에 대해 soxhlet 장치로 정량 분석을 실시하여 최종 수율을 구하였다.

### 초임계유체 추출 시 각 조건이 수율에 미치는 영향

초임계유체 추출 공정 중의 주요한 인자인 추출 온도와 추출 시간, 추출 압력에 대한 실험을 설계하고, 반응표면분석에 의하여 참깨박으로부터 참기름의 초임계유체 추출의 최적 추출 조건을 분석한 후 이 최고점 부근에서 추출 온도, 추출 시간, 추출 압력의 각 변수가 추출 수율에 각각 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위하여 다음과 같이 실험하였다.

**온도가 추출 수율에 미치는 영향:** 반응표면분석에 의해 도출된 최고점 부근에서 추출시간과 압력을 고정하고, 온도를 35-75°C까지 5°C 간격으로 변화시키면서 참기름의 추출 수율을 비교 분석 하였다.

**추출시간이 추출 수율에 미치는 영향:** 반응표면분석에 의해 도출된 최고점 부근에서 온도와 압력을 고정하고, 추출시간을 30-150분까지 15분 간격으로 변화시키면서 참기름의 추출 수율을 비교 분석 하였다.

**압력이 추출 수율에 미치는 영향:** 반응표면분석에 의해 도출된 최고점 부근에서 온도와 추출시간을 고정하고, 압력을 15092-34300 kPa까지 2401 kPa 간격으로 변화시키면서 참기름의 추출 수율을 비교 분석하였다.

### Gas chromatography에 지방산 조성 분석

6% 황산이 희석된 methanol 3 mL와 초임계유체 추출 참기름 100 mg을 25 mL 시험관에 혼합한 후 내부표준 물질인 heptadecanoic acid(1 mg/mL hexane)를 50  $\mu$ L 첨가한 다음, 70°C oven에서 60분간 반응시켰다. 반응 후 hexane층만을 취하여 자동주입기가 장착된 gas chromatograph(Hewlett-Packard 6890 series, Avondale, PA, USA)를 사용하여 지방산 분석을 실시하였다. 분석에 사용된 fused-silica capillary column(Supelco-wax<sup>TM</sup>-10, 60 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.25  $\mu$ m film thickness, Bellefonte, PA, USA)은 시간에 따라 온도변화(10°C 5min  $\rightarrow$  4°C/min  $\rightarrow$  220°C 20 min)를 주어 peak의 분리 효율을 높였으며, flame ionized detector(FID)를 통하여 검출하였다. 이동상은 질소가스를 이용하였고, injector와 detector 온도는 각각 250°C, 260°C로 설정하였다.

### 전자코 시스템을 이용한 향기패턴 비교

본 실험에 사용된 전자코는  $\alpha$ -Fox 3000 Electronic Nose System(Alpha M.O.S. France)으로 센서는 12개의 metal oxide sensor(MOS), 즉 SY/LG, SY/G, SY/AA, SY/GH, SY/gCTI, SY/gCT, T30/1, P10/2, P40/1, T70/2, PA2로 구성되어 있는 것을 사용하였다. 10 mL vial에 초임계유체 추출 참기름을 취해서 각각 8반복으로 incubation time은 5분, incubation temperature는 40°C, 진탕은 500 rpm으로 하여 headspace로부터 향기성분을 포집하였고, 이것을 45°C로 유지되는 injection port에 주입하여 분석을 시행하였다. 향기패턴 분석 결과 얻은 각 센서의 저항값에 대한 시료 휘발성 성분의 저항값의 변화율로 주 성분분석(Principal component analysis; PCA)를 실행하여 제1주 성분 값과 제2주 성분 값을 얻었으며, SAS Program을 통해 MANOVA(multivariate analysis of variance)를 실시하여 유의성을 검증하였다.

## 결과 및 고찰

### Soxhlet에 의한 참깨박 참기름의 정량 분석

시료로 사용한 참깨박은 참깨의 압착 착유 과정 중 얻어지는 1차 참깨박으로, 조지방 함량을 soxhlet 장치로 분석한 결과 9.0 $\pm$ 0.1(Mean $\pm$ S.D.)% 이었다. 현재 식품공전에서 참기름은 '참깨를 압착하여 얻은 압착참기름과 참깨로부터 추출한 원유를 정제한 추출 참깨유'라고 정의 되어있다(6). 일반적으로 사용되고 있는 압착에 의한 채유는 85-92% 정도의 수율을 얻을 수 있지만, 그 이상의 수율을 얻기 어렵다(7). 용매를 이용한 추출의 경우 수율은 높일 수 있지만, 유기용매의 잔존 위험과 소비자의 기피 현상이 있을 수 있으므로, 초임계유체 추출을 이용 시 이러한 문제점들을 해결 할 수 있을 것이라 사료된다.

### 초임계유체 추출한 참기름의 정량 분석

반응변수를 추출온도와 추출시간 및 추출압력으로 하고, 종속변수를 sesame oil(%)로 하여 반응표면분석을 위한 중심 합성 계획법에 따라 계획한 16구의 실험 조건 각각에 따른 참기름의 수율은 Table 3과 같았다.

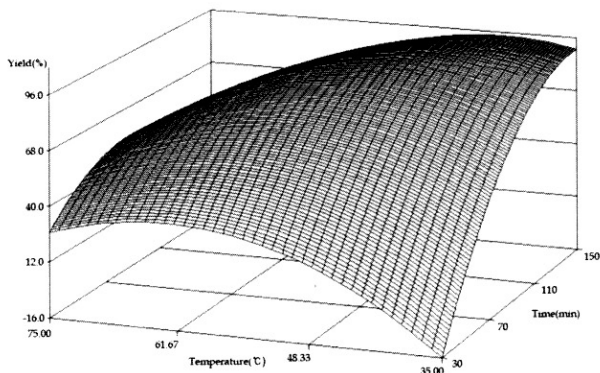
### 최적 추출 조건 도출을 위한 반응 표면 분석

반응변수를 추출온도와 추출압력 및 추출시간으로 하고 종속변수를 sesame oil(%)로 하여 SAS Program을 이용하여 3차

**Table 3. The yield of extracted sesame oil at various extraction conditions analyzed by SFE**

Treatment	T (°C)	E (min)	P (kPa)	Sesame oil yield (%)
	X <sub>1</sub> <sup>1)</sup>	X <sub>2</sub> <sup>2)</sup>	X <sub>3</sub> <sup>3)</sup>	
1	-1	-1	-1	42.9
2	-1	-1	1	59.0
3	-1	1	-1	60.4
4	-1	1	1	93.6
5	1	-1	-1	15.5
6	1	-1	1	50.9
7	1	1	-1	14.8
8	1	1	1	49.3
9	0	0	0	73.1
10	0	0	0	73.1
11	-2	0	0	46.7
12	2	0	0	45.1
13	0	-2	0	22.6
14	0	2	0	68.8
15	0	0	-2	18.2
16	0	0	2	93.3

<sup>1)</sup>X<sub>1</sub>: extracted temperature, <sup>2)</sup>X<sub>2</sub>: extraction time, <sup>3)</sup>X<sub>3</sub>: extracted pressure



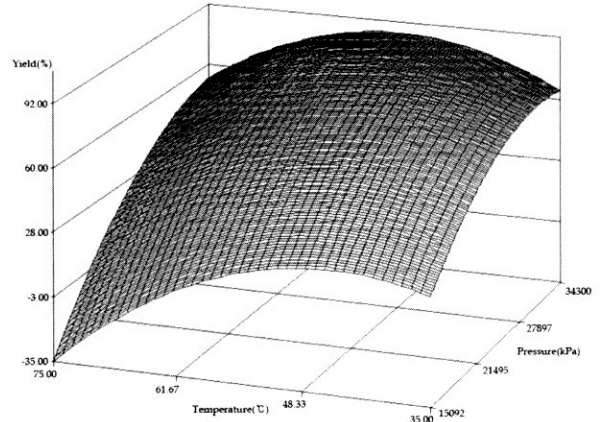
**Fig. 2. Response surface contour of sesame oil yield from sesame cake as a fraction of SFE extraction at various temperatures and extraction times.**

원 그래프 분석한 결과는 Fig. 2, 3, 4와 같았다. 회귀 분석에 의한 모델식의 예측에는 SAS program(Ver 6.1)이 사용되었고, 회귀분석결과 임계점이 최대점이거나 최소점이 아니고 안장점 일 경우에는 능선분석을 하여 최적점을 구하였다. 회귀분석 결과 참기름 추출량의 최고점은 45.89°C, 131.89 min, 34228.41 kPa 일 때 96.27%이었다.

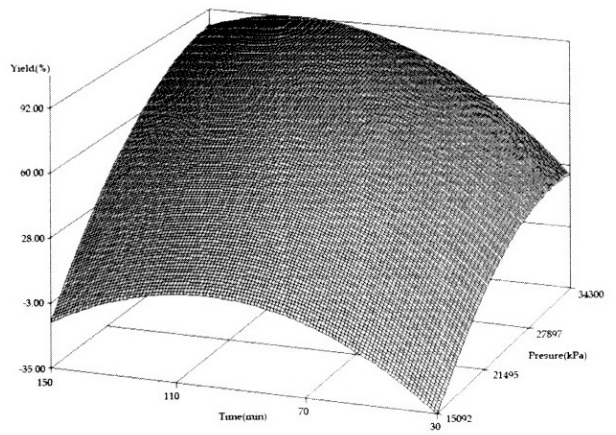
회귀 분석 결과는 Table 4, 5에 나타내었다. Total regress의 Prob>F 값이 0.0490으로 높은 유의 수준을 보였으며, R-square는 0.8612로 높은 유의 수준을 보였다. 회귀 분석 결과를 이용한 참기름 추출에 관한 반응 표면 회귀식은 참기름의 반응표면 회귀식은  $Y(\text{sesame oil}) = -3.89 + 0.07X_1 + 0.03X_2 + 0.0006X_3 - 0.0007X_1^2 - 0.0002X_2X_1 - 0.00008X_2^2 + 0.000004X_3X_1 + 0.0000009X_3X_2 - 0.0000009X_3^2$ 이었다.

**초임계유체 추출 시 각 조건이 수율에 미치는 영향**

**온도가 추출 수율에 미치는 영향:** 초임계유체 추출 시 온도가 참기름 추출 수율에 미치는 영향을 알아보기 위해, 추출 시



**Fig. 3. Response surface contour of sesame oil yield from sesame cake as a fraction of SFE extraction at various temperatures and pressures.**



**Fig. 4. Response surface contour of sesame oil yield from sesame cake as a fraction of SFE extraction at various extraction times and pressures.**

간과 압력을 고정하고 온도 변화에 따른 추출 수율의 변화를 비교하였다. 반응표면 분석에 의해 도출된 최고점 부근인 130 min, 34,300 kPa에서 압력과 추출 시간을 고정하고, 온도를 35-75°C까지 5°C 간격으로 변화시키면서 참기름의 추출 수율을 비교하여 Fig. 5에 나타내었다.

Fig. 5에서 보는 바와 같이 온도가 증가함에 따라 추출 수율이 증가하다가 45-50°C 사이에서 최고점을 나타낸 후 감소하였다. 특히, 55°C 이후부터 감소폭이 커지는 것을 알 수 있다. 이는 초임계유체의 밀도와 관련이 있는 것으로, 일반적으로 초임계유체의 밀도가 커질수록 용해도는 커진다. 초임계유체의 밀도는 온도와 압력에 가장 큰 영향을 받는데 압력이 커질수록 그리고, 온도가 낮아질수록 밀도가 커지는 것으로 알려져 있다. 45°C까지 특히 수율의 변화가 큰 것은 임계점 부근에서 초임계유체의 밀도변화가 상대적으로 크기 때문인 것으로 사료된다.

**추출시간이 추출 수율에 미치는 영향:** 초임계유체 추출 시 추출시간이 참기름 추출 수율에 미치는 영향을 알아보기 위해, 온도와 압력을 고정하고 추출시간에 따른 추출 수율의 변화를 비교하였다. 즉, 반응표면분석에 의해 도출된 최고점 부근인 45°C, 34,300 kPa에서 온도와 압력을 고정하고, 추출시간을 30

Table 4. Statistical model parameter of sesame oil

Regression	DF	Type of I sum of square	R-square	F value	Prob > F
Linear	3	0.682636	0.7105	10.24	0.0089
Quadratic	3	0.099273	0.1033	1.49	0.3097
Cross product	3	0.045533	0.0474	0.68	0.5941
Total Regress	9	0.827443	0.8612	4.14	0.0490

Table 5. Estimated regression coefficient for sesame oil in sesame cake by SFE

Parameter	DF	Parameter estimate	Standard error	Prove >  T	T value
INTERCEPT	1	-3.892100	2.747958	0.2064	-1.42
X <sub>1</sub>	1	0.073812	0.051762	0.2038	1.43
X <sub>2</sub>	1	0.025582	0.015235	0.1441	1.68
X <sub>3</sub>	1	0.000591	0.000725	0.4461	0.82
X <sub>1</sub> × X <sub>1</sub>	1	-0.000680	0.000373	0.1179	-1.82
X <sub>2</sub> × X <sub>1</sub>	1	-0.000226	0.000176	0.2453	-1.29
X <sub>2</sub> × X <sub>2</sub>	1	-0.000075972	0.000041410	0.1162	-1.83
X <sub>3</sub> × X <sub>1</sub>	1	0.000003696	0.000007529	0.6409	0.49
X <sub>3</sub> × X <sub>2</sub>	1	0.000000970	0.000007529	0.7124	0.39
X <sub>3</sub> × X <sub>3</sub>	1	-8.903061E-8	7.6058742E-8	0.2862	-1.17

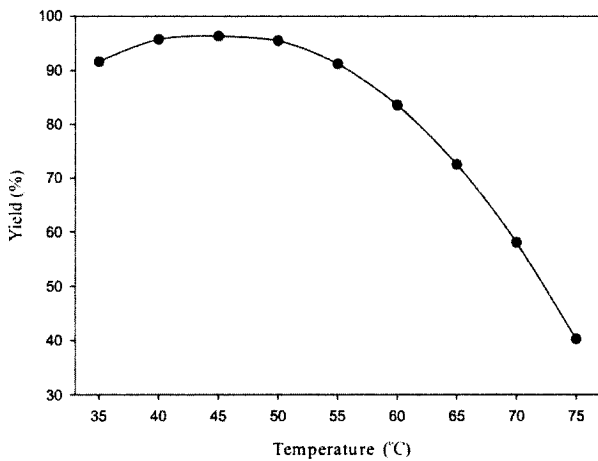


Fig. 5. The effects of temperature on the extraction yield of sesame oil at 130 min, and 34,300 kPa.

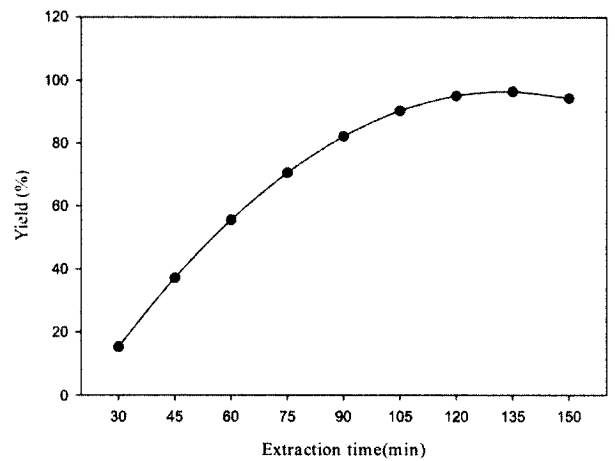


Fig. 6. The effects of extraction time on the extraction yield of sesame oil at 45°C, and 34,300 kPa.

분-150분까지 15분 간격으로 변화시키면서 참기름의 추출 수율을 비교하여 Fig. 6에 나타내었다.

Fig. 6에서 보는 바와 같이 추출시간이 증가함에 따라 수율이 증가하는 경향을 보였으나, 130분 부근에서 최고 수율을 나타낸 이후부터는 추출 시간을 늘려도 수율은 일정한 경향을 보였다. 추출시간에 따른 수율 변화 관찰 결과 최고점인 130분까지 수율과 추출시간은 거의 비례하는 것을 볼 수 있었다.

**압력이 추출 수율에 미치는 영향:** 초임계유체 추출 시 압력이 참기름 추출 수율에 미치는 영향을 알아보기 위해, 온도와 추출시간을 고정하고 압력에 따른 추출 수율의 변화를 비교하였다. 즉, 반응표면분석에 의해 도출된 최고점 부근인 45°C, 130분에서 온도와 추출시간을 고정하고, 압력을 15,092-34,300 kPa 까지 2401 kPa 간격으로 변화시키면서 참기름의 추출 수율을 비교하여 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7에서 보는 바와 같이 압력 증가 시 추출 수율이 계속해서 증가하였으며, 특히 15,092 kPa 와 24,696 kPa 사이에서 압력증가에 따른 추출 수율의 증가 폭

이 컸다. 일반적으로 초임계유체의 밀도가 커질수록 용해도가 커지는데, 15,092-24,696 kPa 압력 범위에서 수율의 변화폭이 큰 것은 임계점 근처에서 밀도 변화가 크기 때문인 것으로 사료된다. 24,696 kPa 보다 큰 압력하에서는 압력증가에 따른 추출 수율의 증가 폭이 다소 완화되었으며, 특히 29,498 kPa 이상의 압력 조건하에서는 그 효과가 미미하였다.

**Gas chromatography에 의한 지방산 조성 분석**

참깨박으로부터 초임계유체 추출을 이용해 추출한 참기름과 시중에서 구매한 참기름의 지방산 조성 분석 결과는 Table 6과 같았다. Table 6에서 보는 바와 같이 초임계유체를 이용한 추출 시 palmitic acid(C16:0)의 비율이 줄어들고 palmitoleic acid (C16:1)의 비율이 늘어났다. 그리고, stearic acid(C18:0), oleic acid(C18:1)는 비율이 줄어들고 linoleic acid(C18:2)는 오히려 비율이 늘어났다. 권(8)은 초임계유체 CO<sub>2</sub>를 이용해 지방산 추출 시 지방산의 불포화도가 증가할수록 용해도가 증가한다고 보고하였으며 본 실험의 결과와 유사함을 알 수 있다. 이는 불포

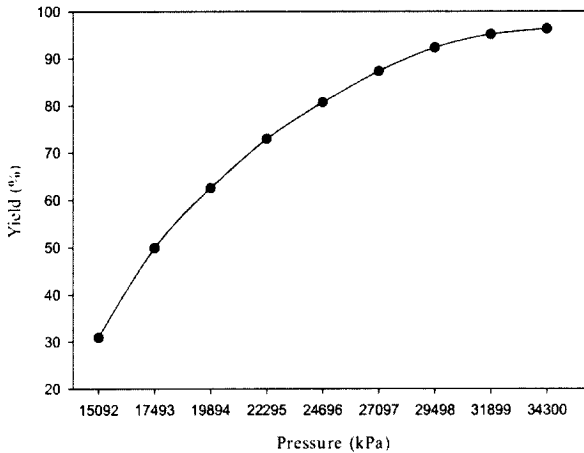


Fig. 7. The effects of pressure on the extraction yield of sesame oil at 45°C, and 130 min.

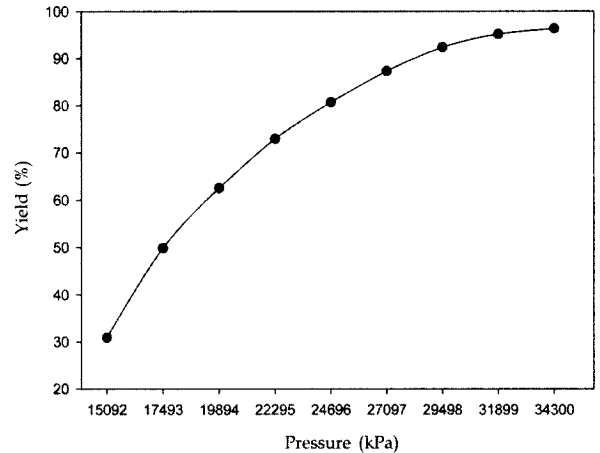


Fig. 8. Principal component analysis (PCA) plot from the electronic nose on purchased and extracted sesame oil.

화도가 증가할수록 지방산의 증기압은 증가하게 되고, 이로 인하여 포화지방산의 용해도에 비하여 불포화지방산의 용해도가 더 크게 나타나는 것이며, 지방산의 형태적 특성으로 불 포화지방산은 일자 형태를 가지고 있으므로 층층이 쌓여지게 되지만, 불포화 지방산은 공간적인 구조를 보임으로써 층층이 쌓여질 수 없고 따라서 용매인 이산화탄소와 접촉할 확률이 더 높아지게 되므로 용해도가 더 크게 나타나는 것으로 생각된다(8).

전자코 시스템에 의한 향기패턴 비교

전자코 시스템을 이용해 시장에서 구입한 참기름과 초임계유체 추출을 통해 얻어진 참기름간의 휘발성 향기 성분을 비교 분석하였다. 전자코 시스템을 통해 얻어진 데이터를 SAS program(Ver 6.1)을 이용해 MANOVA(multivariate analysis of variance) 검정을 실시하여 Table 7의 결과를 얻었다. Table 7에서와 같이 시장에서 구입한 참기름과 초임계유체 추출을 통해 얻은 참기름의 향기성분 간에는 유의적인 차이(p < 0.05)가 있는 것으로 나타났다. 또한 주성분 분석 결과(principal component analysis; PCA) Fig. 8에 나타난 것과 같이 제 1 주성분의 기여율(proportion)은 99.92%, 제 2 주성분의 기여율은 0.04%이었고, 두 샘플간의 향기패턴에 대한 차이가 있었다.

초임계유체 추출을 통해 얻은 참기름이 시장에서 구매한 참기름 보다 고소한 향이 많이 적었는데, 이는 초임계유체 추출 시 사용한 것이 참깨가 아닌 참깨박이었기 때문인 것으로 사

료된다. Kim 등(9)은 참깨박을 재 착유한 2차 압착유의 경우 50%의 향기성분만이 잔존하여 향성분의 손실이 크게 증가한다고 하였는데 이 결과와 일치하였다.

결 론

참깨박의 초임계유체 CO<sub>2</sub>를 이용한 참기름의 추출에서 반응 표면분석을 위해 반응 변수를 추출온도(X<sub>1</sub>)와 추출시간(X<sub>2</sub>), 추출압력(X<sub>3</sub>)으로 하고 종속변수(Y)의 값을 참기름 함량으로 설정하였다. 반응표면분석을 위한 중심합성계획법에 따라 16구의 실험구를 설계하고, 이 data를 SAS 통계프로그램에 적용시켜 최적조건을 도출하였다. SAS Program을 이용한 반응표면분석 및 회귀분석을 실시하여 회귀식을 도출한 결과는 다음과 같다. Y(sesame oil) = -3.89 + 0.07X<sub>1</sub> + 0.03X<sub>2</sub> + 0.0006X<sub>3</sub> - 0.0007X<sub>1</sub><sup>2</sup> - 0.0002X<sub>2</sub>X<sub>1</sub> - 0.00008X<sub>2</sub><sup>2</sup> + 0.000004X<sub>3</sub>X<sub>1</sub> + 0.0000009X<sub>3</sub>X<sub>2</sub> - 0.00000009X<sub>3</sub><sup>2</sup>. 참기름 추출량의 최고점은 45.89°C, 131.89 min, 34,228.41 kPa 일 때 96.27%이었다. 최적 조건 부근인 130 min, 34,300 kPa에서 온도가 추출 수율에 미치는 영향을 알아 본 결과 온도가 45-50°C 사이에서 최고점을 보였고, 55°C 이상의 온도에서는 수율이 급격히 감소하였다. 최적 조건 부근인 45°C, 34,300 kPa 에서 추출시간이 추출 수율에 미치는 영향을 알아 본 결과 추출시간이 증가할수록 수율이 증가하였으며, 130 min 이상에서는 거의 변화가 없었다. 최적 조건 부근인 45°C, 130 min

Table 6. Fatty acid compositions (mole %) of purchased and extracted sesame oil

Sample	Fatty acid composition					
	C16:0	C16:1	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3
PS <sup>1)</sup>	11.2%	0.0%	6.2%	43.6%	39.0%	0.0%
ES <sup>2)</sup>	10.8%	0.2%	5.0%	36.5%	47.5%	0.0%

<sup>1)</sup>PS: purchased sesame oil, <sup>2)</sup>ES: extracted sesame oil by supercritical fluid CO<sub>2</sub>.

Table 7. The result of MANOVA test in comparison of purchased and extracted sesame oil

Statistic	Value	F value	Num DF	Den DF	Pr > F
Wilks' Lambda	0.000032	7898.27	12	3	<.0001
Pillai's Trace	0.999968	7898.27	12	3	<.0001
Hotelling-Lawley Trace	31593.089842	7898.27	12	3	<.0001
Roy's Greatest Root	31593.089842	7898.27	12	3	<.0001

에서 압력이 추출 수율에 미치는 영향을 알아 본 결과 압력이 증가 할수록 수율이 꾸준히 증가하였으며, 15,092 kPa와 24,696 kPa 사이에서 압력증가에 따른 추출 수율의 증가 폭이 컸다. 29,498 kPa 이상의 압력 조건하에서는 그 효과가 미미하였다. 초임계유체 추출을 통해 얻은 참기름의 지방산 분석 결과 palmitic acid(C16:0)의 비율이 줄어들고 palmitoleic acid(C16:1)의 비율이 늘어났다. 또한 stearic acid(C18:0), oleic acid(C18:1)는 비율이 줄어들고 linoleic acid(C18:2)는 오히려 비율이 늘어났다. 이는 초임계유체 추출 시 지방산의 불포화도가 높아질수록 용해도가 증가하기 때문으로 사료된다.

## 문 헌

1. Kang MH, Ryu SN, Bang JK, Min KS, Lee BH. Physiological functions of sesamin and sesamol in sesame. *Korean J. Intl. Agric.* 11: 126-137 (1999)

2. Ryu SN, Kim KW, Lee EJ. Current status and prospects of quality evaluation in sesame. *Korean J. Crop Sci.* 47: 140-149 (2002)

3. Ryu SN. Studies on quantitative analyses for antioxidants and their varietal and environmental variations in sesame. Ph.D. thesis, Chungnam National University, Daejeon, Korea (1993)

4. Cochran WG, Cox GM. *Experimental designs*. 2nd ed. John Wiley & Sons Co., NewYork, NY, USA (1967)

5. AOAC. *Official Methods of Analysis of AOAC Intl.* 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA (1990)

6. KFDA. *Food Code*. Korea Food and Drug Administration. Moonyoung Co., Seoul, Korea (2000)

7. Min YK, Jeong HS. Optimization of batch expression of sesame oil. *J. Korean Soc. Food Nutr.* 24: 785-789 (1995)

8. Kwon YA. Determination of solubility of fatty acid methyl esters in supercritical carbon dioxide. *Food Engin. Prog.* 1: 226-232 (1997)

---

(2005년 3월 16일 접수; 2005년 5월 11일 채택)