

전자코를 사용한 가열처리 야자유의 판별

한기영¹ · 오세연^{2,3} · 김정환¹ · 윤예리 · 노봉수*

¹서울보건대학 조리예술학과, ²코스모과학, ³서울여자대학교 화학과, 서울여자대학교 식품과학부

Discrimination of the Heated Coconut Oil using the Electronic Nose

Kee Young Han¹, Se-Yeon Oh^{2,3}, Jung-Hoan Kim¹, Aye-Ree Youn, and Bong-Soo Noh*

¹Department of Culinary Art, Seoul Health College

²KOSMO Scientific Co.

³Department of Chemistry, Seoul Women's University
Division of Food Science, Seoul Women's University

Abstract Effect of heat (160, 190, and 220°C for 24 hr) on coconut oil was examined by principal component analysis using electronic nose consisting of six metal oxide sensors. Increase in heating temperature decreased ratio of resistance and first principal component score (from +0.952 to -0.325), indicating rancidity of coconut oil increased at high heating temperature. Result of electronic nose based on GC with surface acoustic wave sensor showed significant changes in volatile profiles of coconut oil. High resolution olfactory imaging (VaporPrint™) was particularly useful for evaluating oil quality. Peak numbers and areas increased with increasing heating time and temperature (160, 220°C). Electronic nose analysis can provide simple, fast, and straightforward results and is best suited for quality control and process monitoring in flavor field of food industry.

Key words: discrimination, electronic nose, coconut oil

서 론

Lauric acid나 caproic acid와 같은 중쇄지방산을 함유한 유지는 맛이나 향이 부드럽고 산화 안정성이 높으며(1) 고급지방산을 함유한 지방에 비하여 장점을 갖고 있다. 특히 간에서 산화 후 에너지원으로 활용되어 탄수화물과 유사한 기능을 보여주고 있으며 소장으로 바로 흡수되어 효소의 도움을 필요로 하지 않기 때문에 고급지방산에 비하여 대사과정도 4배나 빠른 것으로 알려져 있다(2). 야자유는 이러한 lauric acid가 46%, 그리고, capric acid가 6% 함유된 지방으로 중쇄지방산을 분리하는데 활용이 되고 있으며(3) 또한 에너지 제한 식이의 보충 원으로 이용할 경우 혈중 cholesterol 함량의 상승 없이도 질소 균형을 개선하는 것으로 알려져 있다(4).

일반적으로 유지의 산화속도는 이중결합의 수가 많을수록 빠르게 일어나는데 야자유나 팜유의 경우 포화지방산의 함량이 많고 상대적으로 불포화지방산의 함량이 낮아 높은 산화 안정성을 지닌다. 이러한 이유로 야자유를 유채유에 혼합하여 가열산화에 따른 산화안정성을 높일 목적으로 사용하였다(5,6).

식용 유지는 고온 가열조리에 의해 구성 지방성분이 산화 혹은 가수분해 되어 aldehyde류, alcohol류, ketone류가 생성되어 비정상적인 맛과 이취를 갖게 되는 산패를 일으킨다(7). 유지 산패

의 화학적인 분석 방법으로는 산가, 과산화물가, TBA가 등의 화학적방법이 있으며, 물리적인 방법으로는 점도, 굴절률, 유도 기간 측정, 형광 분석법 등이 있다. 또한 관능검사를 이용하여 유지의 산패를 분석하는 방법은 훈련이 잘 된 관능검사 패널들이 향의 강도나 배합의 차이를 감지할 수 있다는 장점이 있으나 이취가 역겨워 반복된 검사에 한계가 있고, 식품에 대한 개인간의 기호도 차이, 식별능력의 차이, 냄새표현에 대한 경험과 식별능력을 가진 숙련된 작업자가 요구되며 이를 위해 많은 시간이 필요하다(8). 그밖에 식용유지의 pentanal, hexanal을 비롯한 휘발성 성분을 GC를 이용해 분석함으로써 산패도를 측정할 수 있다(7,9). 이와 같은 기기분석은 적합한 전처리 방법으로 휘발성 성분의 추출 방법을 잘 선택해야 한다. 아울러, 합당한 컬럼의 선택과 분리 조건 등을 확립해야 한다. 따라서 이러한 단점을 극복하고자 코다 객관적이고 자동화된 기기에 대한 필요 욕구가 커져 신속하게 정성적인 분석뿐만 아니라 정량적 분석이 이루어 질 수 있으면서 사람의 후각인지 체계를 모방한 전자코 장치가 활용되었다(10).

전자코는 사람의 기능을 100% 따라 갈 수는 없지만, 주의 깊은 센서의 선택에 의해 사람과 유사하게 향에 반응할 수 있고 사람이 감지하는 향에 대해 반응할 수 있을 뿐만 아니라 인간이 감지할 수 없는 화학물질에도 반응하는 특징을 가지고 있다(11).

지금까지의 전자코의 연구현황을 보면 순수한 올리브유는 산도가 낮고 품질이 매우 우수하여 가격이 비싸지만 가공공정에 의하여 이보다 품질이 떨어지는 옥수수유나 해바라기유 등을 첨가한 저 품질의 올리브유가 고품질의 제품으로 둔갑하는 경우가 발생하여 이를 바로 잡기 위한 방편의 하나로 전자코를 이용하여 품질의 등급에 따른 올리브유를 구별해 냈다(12). 또, 카놀라유, 옥수수유, 대두유 등을 60°C에서 12일간 보관하면서 산패가 일어

*Corresponding author: Bong-Soo Noh, Division of Food Science, Seoul Women's University, Kongleung-dong Nowon-gu, Seoul 139-774, Korea

Tel: 82-2-970-5636

Fax: 82-2-970-5977

E-mail: bsnoh@swu.ac.kr

Received September 1, 2005; accepted December 15, 2005

나는 동안 과산화물가 및 관능검사결과와 더불어 전자코에 의한 분석을 실시하여 산패와 관련된 휘발성분의 변화가 상관관계가 높음을 발견하고 관능검사를 대신하여 측정분석 할 수 있다고 판단하였다(13). 이외에도 식용유(14-16), 참기름(17), 올리브유(18), 대두유(19,20)의 산패과정 중에 생성된 휘발성분을 분석하여 산패정도를 구별하였다.

또한, GC-SAW를 바탕으로 한 전자코의 경우 극미량까지도 분석이 가능하며 다이옥신의 경우 1 ppb까지 검출이 가능하여 현재 미국의 EPA의 다이옥신분석기기로 인정이 되고 있는 실정이다(21).

본 연구는 6개의 금속산화물센서로 구성된 제1세대 전자코와 GC를 바탕으로 수동진동자센서(SAW)가 내장된 제2세대 전자코로 가열 처리된 야자유의 휘발성분을 신속하고 간편한 방법으로 분석하여 가열 처리 정도를 예측하고자 하였다.

재료 및 방법

시료유 및 가열처리 시료의 조제

본 실험에 사용한 야자유는 (주)오뚜기에서 시판용인 것을 시료로 사용하였다. 야자유는 oil bath에서 160°C로 0, 4, 8, 12, 16, 20시간, 190°C로 0, 4, 8, 12, 16, 20, 24시간, 그리고 220°C로 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 24시간으로 가열하여 시료를 취하였다.

산가측정

시료유의 산화 안정성을 측정하기 위하여 산가(acid value, AV)는 시료 20 g을 100 mL 플라스크에 취한 후 20 mL 에테르-에탄올 혼합용액을 가하여 완전히 용해시킨 후 1% 페놀프탈레인 용액 2방울을 가하고 0.1N KOH·에탄올 용액으로 적정하였다(22).

금속산화물센서로 구성된 전자코의 분석

본 실험에 사용된 전자코는 LG기술원의 모델제품을 (주)한빛인스트루먼트 (Seoul, Korea)에 의뢰하여 제조한 것으로서 센서는 각각 6개의 금속산화물센서가 사용되었다. 센서 1084CT/24(Capteur, UK)를 제외한 나머지 5개의 센서는 Figaro(Tokyo, Japan)에서 구입하였고, 각 센서들의 특징은 Table 1과 같다. 시료의 향을 분석하기 위한 추출조건으로 시료의 양은 0.5 g, 추출시간은 5분, 추출온도는 30°C, 분석시간은 120초로 정하였다. 센서가 시료 향과 반응시의 분석 시간은 전자코로 시료를 측정할 때 전자코의 저항 비율값이 가장 낮았을 때의 시간으로 정하였다. 전자코의 저항 비율값은 신선한 공기의 저항값 (R_{air})에 대하여 시료 휘발성 물질의 저항값(R_{gas})의 비율, 즉 R_{gas}/R_{air} 로 표현하였다.

GC-SAW를 바탕으로 한 전자코를 이용한 분석

GC-SAW를 바탕으로 한 전자코를 사용하여 분석하였으며, 이는 수동진동자센서가 GC에 내장되어진 전자코이다. GC/SAW 전자코시스템(z-Nose 4100, Electronic Sensor Technol., Newbury park, CA, USA)은 유체유의 산패도 예측에 사용된 전자코의 시

Table 1. Metal oxide sensors in the electronic nose

Sensor No.	Sensor model	Specification
1	TGS826	Amine compound
2	1084CT/24	Hydrogen sulfide
3	TGS842	Methane
4	TGS2620	Solvent vapors (Alcohol)
5	TGS2610	Combustible gas
6	TGS2600	Air contaminant

스템으로 구성되어 있다(23). 수동진동자 검출기는 수정결정의 표면에 분석물질이 닿아서 반응하는 진동수를 측정한다. 이 진동수를 데이터로 하여 분석하였다.

시료는 0.5 g씩 20 mL vial에 담은 후, 실온에서 증기의 평형이 충분히 이루어 질 수 있도록 30분간 평형 상태를 유지 시켰다. 준비된 시료가 증기 평형이 이루어 졌을 때, 전자코에 내장되어 있는 펌프의 가동으로 인하여, 시료의 주입구를 통하여 시료의 증기만 주입하며 30초 동안 향기성분을 채취하였다. 이렇게 주입된 시료는 경로에 따라 트랩에 저장되어지고, 운반기체(고순도 헬륨: 99.9995%)에 의해 DB-5 capillary 컬럼(Supelco, Bellefonte, PA, USA: film thickness 0.33 μ m, inside diameter 0.25 mm, length 1 m)으로 전달되며 여기서 단일물질로 분리가 일어나고, 수동진동자센서에 의하여 검출하였다. 재현성을 보기 위하여 매 시료마다 3회 반복 실험을 하였으며, 분석 소요시간은 30초 내외, 컬럼의 온도는 30°C에서 120°C까지 3°C/sec로 프로그램 하였으며, 주입구 온도는 130°C, 밸브의 온도 110°C, 센서의 온도는 30°C로 설정하여 분석하였다.

주성분분석

금속산화물센서로 구성된 전자코로 측정하여 얻어진 데이터를 이용하여 다변량 통계분석프로그램(MVSAP, version 3.1)으로 주성분 분석을 실시하였다. 전자코에 내장된 센서 6개에 감지된 휘발성 성분의 저항비율값 (R_{gas}/R_{air})을 입력한 후 통계프로그램을 이용하여 기여율, 제1주성분 값, 제2주성분 값을 구하였다(19).

진동수패턴분석과 미분패턴분석

수동진동자센서로부터 진동수 패턴형태로 얻어진 것과 이를 미분하여 얻은 미분패턴을 각각 VaporPrint™ 이미지 소프트웨어를 이용하여 나타냈다. 이것은 GC분석으로 얻어진 크로마토그램을 분석시간 30초를 360° 원형으로 표시하여 나타냈다(24).

결과 및 고찰

산가의 변화

가열온도와 가열시간에 따른 야자유의 산가 변화를 Table 2와 같이 나타내었다. 야자유의 산가는 가열온도와 시간에 따라 점점 증가하는 것을 알 수 있었는데, 초기 산가가 0.09에서 160°C에서는 20시간 가열 후 0.41, 220°C에서는 가열 12시간 후 0.50에 도

Table 2. Changes of acid values of the heated coconut oil at 160°C and 220°C for 24 hours

Time (hr)	160°C	220°C
0	0.09 ± 0.03	0.09 ± 0.03
3	-	0.11 ± 0.02
4	0.14 ± 0.04	-
6	-	0.17 ± 0.08
8	0.17 ± 0.02	-
9	-	0.39 ± 0.02
12	0.20 ± 0.08	0.50 ± 0.03
15	-	0.67 ± 0.04
16	0.26 ± 0.08	-
18	-	0.62 ± 0.02
20	0.41 ± 0.02	-
21	-	0.45 ± 0.05
24	-	0.67 ± 0.06

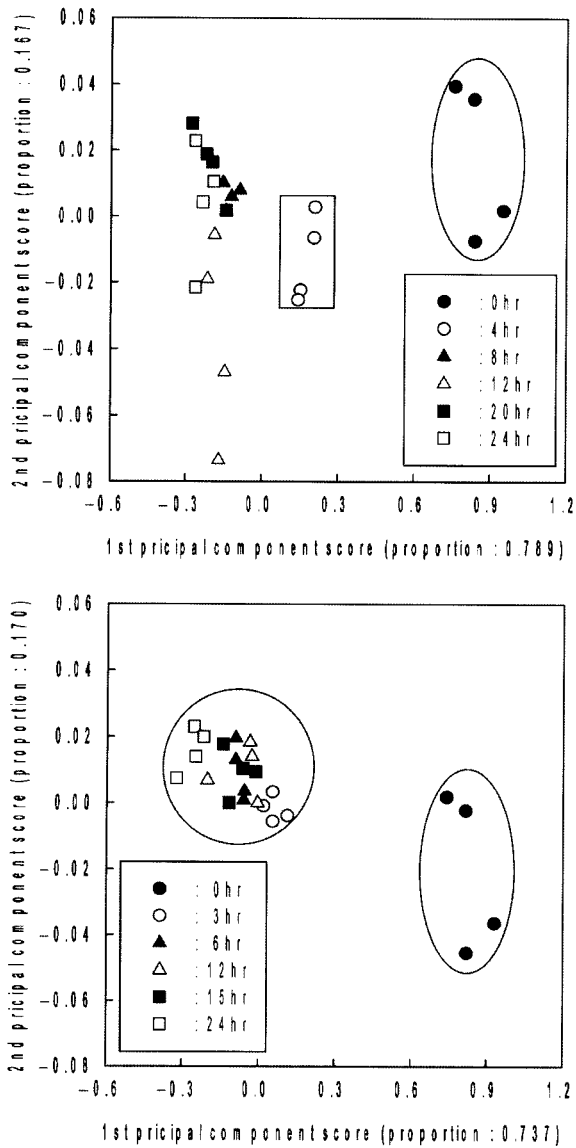


Fig. 1. Principal component analysis of ratio of resistance by the electronic nose with metal oxide sensors to volatile compounds of coconut oil heated at 190°C (A) and 220°C (B). Heating time (hr) was indicated as a number.

달하였다. 이러한 현상은 야자유 가열시 산가의 급격한 상승에 관한 보고(25)와 거의 유사하였으며, 가열시 산가의 변화가 증가와 감소를 반복적으로 나타냈는데 이는 가열시 산가의 변화에서 일반적으로 나타나는 현상인 것을 알 수 있었다.

Metal oxide 센서로 구성된 전자코에 의한 측정

Lauric acid 등 저급지방산을 많이 함유한 야자유를 190°C와 220°C에서 가열하여 각각 4시간, 3시간 간격으로 전자코로 분석하였다. Fig. 1A에서 보는 바와 같이 190°C에서 가열한 야자유를 6개의 금속산화물센서를 가진 제1세대 전자코로 분석하여 나온 데이터를 가지고 주성분 분석을 한 결과, 가열시간에 따라 제1주성분 분석값이 +0.952에서 -0.325로 이동하여 분별됨을 알 수 있고, 0시간, 4시간, 그리고 8시간 이상 가열된 것들이 크게 3개의 군집으로 구분되었다. 따라서 8시간 가열되기까지는 제1주성분의 값과 가열처리시간이 비례적인 관계에 있음을 알 수 있다. 한편, 190°C에서 4시간에 해당하는 값이 220°C에서는 3시간이면

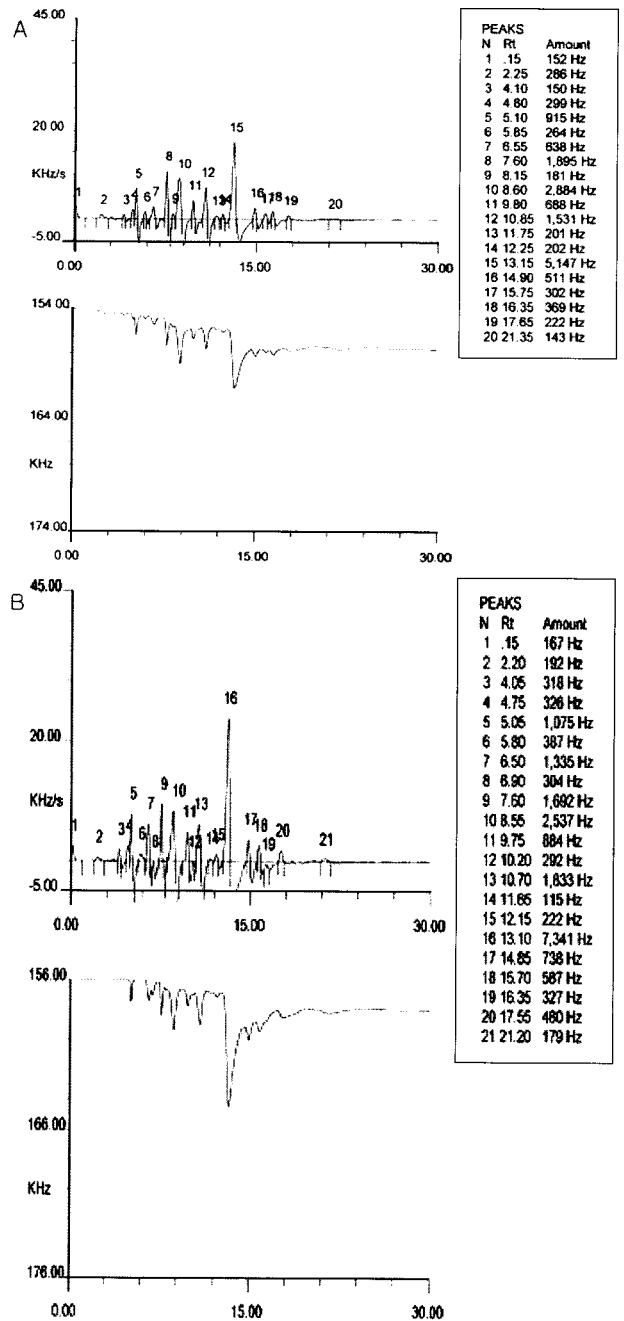


Fig. 2. Two types of chromatogram for the heated coconut oil at 160°C for 16 hrs (A) and at 220°C for 18 hrs (B) are produced by electronic nose based on GC with SAW sensor. Derivative chromatogram: top, frequency chromatogram: bottom. Frequency value of each retention time(sec) was shown in side table. Number means series of peak of gas chromatogram.

그 값에 도달함에 따라 가열온도가 높을수록 빨리 산패되었다. 신선한 것(비가열처리)과 220°C에서 3시간 가열한 것 간에 큰 차이를 보여 주고 있으나 3시간 이상 열처리된 것들 간에는 가열처리시간에 따라 커다란 차이를 보여 주지 않고 있다(Fig. 1B). 즉 3시간 이상 열처리된 야자유에서 생성된 휘발성분에 대하여 금속산화물센서로 구성된 전자코가 감지하였으나 220°C에서 그 차이는 뚜렷하게 구별되지 않아 가열시간에 따른 차이를 구별하는 데에는 한계를 보여 주었다. 즉 금속산화물센서로 구성된 전자코는 220°C에서 가열처리한 것과 비 가열 처리한 것을 구별하

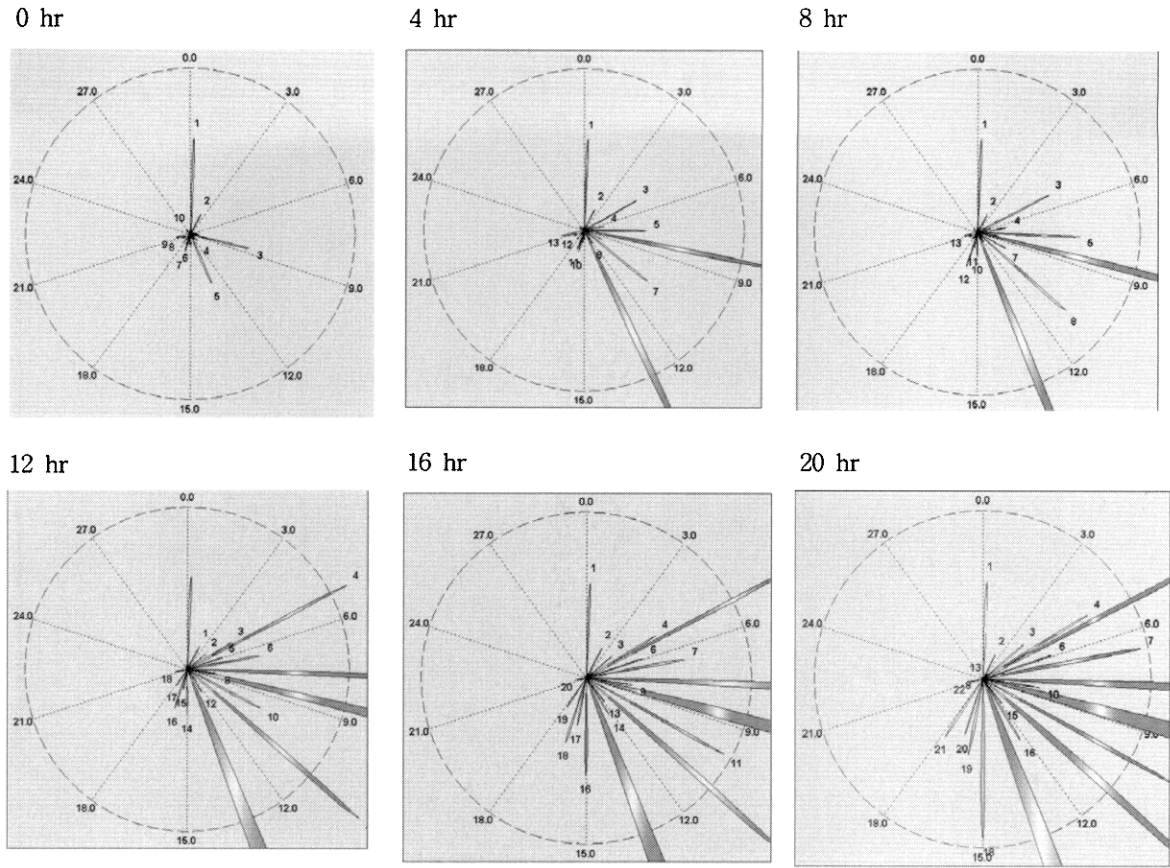


Fig. 3. Derivative patterns of the heated coconut oil at 160°C using electronic nose based on GC with SAW sensor and VaporPrints™ image program.

기는 하나 구체적으로 어느 정도 가열되었는지는 알 수 없었다.

GC-SAW를 바탕으로 한 전자코에 의한 측정

제2세대 전자코는 휘발성분을 분석하는데 불과 30초 동안에 GC 컬럼으로부터 30°C에서 120°C까지 올라가면서 각기 다른 휘발도를 유도해 센서검출기로 전달되어 마치 500여개의 화학센서를 사용한 것이나 마찬가지로의 효과를 얻을 수 있으며(24) 머무름 시간에 따라 화학성분이 구분된다. 160°C와 220°C에서 가열한 야자유를 GC-SAW를 바탕으로 한 전자코로 분석하여 얻은 머무름 시간별 진동수값의 차이를 표현한 frequency 형태와 이를 미분하여 각각의 미분패턴의 크로마토그램을 얻을 수 있었다(Fig. 2A and B). 각 머무름 시간별로 휘발성분에 따라 진동수값으로 hertz 값이 아울러 제시되었는데 이러한 값들은 가열 처리 시간에 따라 점차 증가하고 있는 양상을 보여주고 있다. Table 3에서 보는 바와 같이 신선한 코코넛유의 경우에는 peak의 수가 적었으나 가열 처리시간에 따라 peak의 수가 증가하였으며 머무름 시간 13.10 초에서 보는 바와 같이 진동수값이 0 hertz에서 7,275 hertz까지 증가하고 있어 가열에 따라 휘발성 물질의 농도가 증가하였음을 보여 주고 있다. 이러한 peak 성분들이 어떤 물질인지 여부는 추후 표준물질을 이용하여 확인되어야 할 것이며 여기서는 패턴분석용으로만 분석이 이루어졌다.

전자코에서 얻어진 크로마토그램은 가열 시간에 따라 진동수 변화의 미분형태로 나타낸 것이며 이것을 보다 쉽게 이해하고 판독하기 위하여 얻어진 각 peak를 VaporPrints™ 이미지프로그램으로 미분패턴분석과 진동수 패턴분석으로 나타낼 수 있는데 미분패턴분석은 peak의 크기변화(Fig. 3, 4)로 야자유의 가열시간을 구

별할 수 있었다. Noh와 Oh(26)는 라면의 경우 신선한 제품과 산패된 라면의 가스크로마토그램과 VaporPrints™ 이미지프로그램을 이용하여 진동수 패턴과 미분패턴분석 결과를 제시한 바 있다. Fig. 3은 신선한 야자유에서부터 가열처리시간이 점차 증가함에 따라 생성된 미세한 휘발성분에 대하여 얻어진 크로마토그램을 VaporPrints™ 이미지프로그램으로 표현한 미분패턴이다. 시료주입 후 30초 동안 머무름 시간에 대하여 분석한 것으로 가열시간이 점차 증가함에 따라 peak의 수와 넓이가 점차 증가함을 보여 주었다. 이는 가열과정 중 생성된 다양한 휘발성분, 이취성분 또

Table 3. The relationship between retention time and frequency amount of the heated (220°C) coconut oil at various heating time. It was analyzed by electronic nose based on GC with SAW sensor

Retention time (sec)	Frequency (hertz)				
	0*	3	6	18	24
5.05	-	515	1163	1075	2020
6.50	-	257	831	1335	1414
7.60	-	-	1230	1692	1971
8.55	166	600	1193	2537	2521
9.75	-	148	488	884	935
10.70	-	377	953	1833	1606
13.10	-	-	-	7341	7275
14.85	168	320	1010	738	731
15.70	-	138	510	587	491
17.55	-	153	467	480	495

*It means heating time (hr).

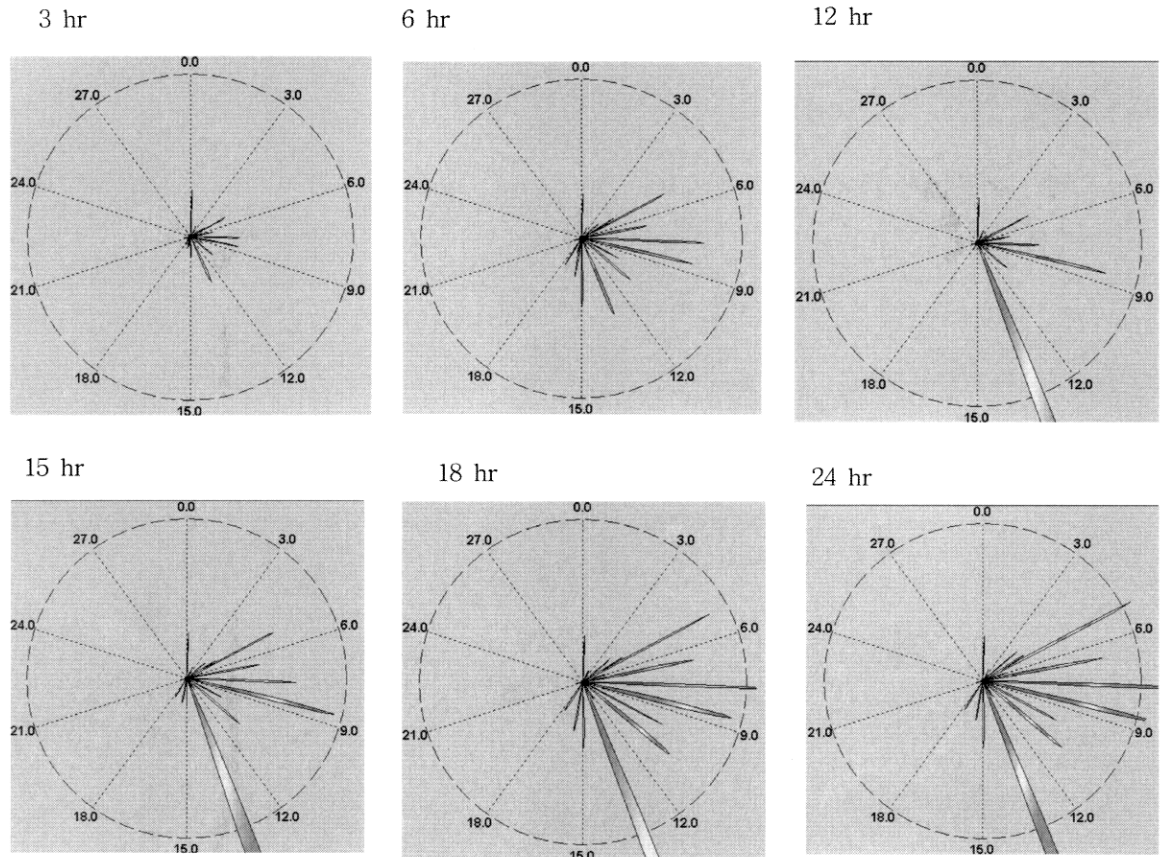


Fig. 4. Derivative patterns of coconut oil heated at 220°C using electronic nose based on GC with SAW sensor and VaporPrints™ image program.

는 산패취성분 등 대부분이 검출되었고 가열에 의한 산패과정에서 생성된 휘발성분의 함량이 점차 증가하였음을 보여 주고 있는 것이다. 가열 시간에 따라 각기 다른 종류의 휘발성분이 다양하게 감지됨을 알 수 있으며 그 종류의 수도 증가함을 알 수 있다.

GC-SAW를 바탕으로 한 전자코에서 190°C보다 낮은 160°C를 선택하여 낮은 온도 조건에서의 미미한 차이까지도 구분할 수 있음을 확인하였다. 한편 Fig. 3에서 160°C에서 20시간 가열처리한 것의 이미지 결과를 220°C에서 24시간 가열 처리한 것(Fig. 4)과 비교해 보면 이미지가 더 크게 나타났는데 이것은 감도조절을 통하여 가스크로마토그램의 y축 scale을 폭넓게 확대 조정하였기 때문에 나타난 결과이다.

산패취가 어떤 성분인지는 명확하게 동정은 되지 않았으나 가열과정에 의해 생성된 것만으로도 충분히 가열산패에 의한 냄새 성분으로 예상할 수 있으며 Gan 등(27)도 RBD palm olein을 저장하면서 생성된 미지의 13가지 성분이 저장일수에 따라 변화되는 정도를 1차회귀방정식으로 나타냈으며 이들의 결정계수가 0.8666-0.9861로 높은 상관관계를 보여 주었다. 이는 GC-SAW 전자코를 이용하여 지방산패의 정도를 예측할 수 있는 것이며 본 실험에서도 유사한 경향을 보여 주었다. GC와 전자코의 차이가 있다면 GC는 구체적으로 어떤 성분인가를 동정하여 구체적인 화학성분이 어떤 물질이며 어떻게 생성되었는지 등을 명확히 밝힐 수 있는데 반하여 전자코의 경우는 사람의 코를 대신하는 역할로 문제가 되는 휘발성분이 구체적으로 어떤 물질인지는 알 수는 없으나 이들 물질의 변화량을 측정할 수 있으며, 어떤 종류의 냄새형태인지 또는 신선한 상태의 정상적인 제품과의 차이를 구

분할 수는 있는 것이다. GC-SAW를 바탕으로 한 전자코는 GC의 휘발도에 따른 휘발성분을 분리하는 장점과 전처리 과정 없이도 신속하게 판별할 수 있는 전자코의 장점을 서로 접목한 시스템으로 올리브유의 품질, 품종, 원지 등을 구분하는데 활용한 것이나(28) 16종류의 야채유로부터 그 차이점을 분석하면서 기존의 분석방법과 함께 GC-SAW를 바탕으로 한 전자코를 이용함으로써 유리지방산, 요오드가, 과산화물 등의 일반적인 특성을 대신할 수 있는 방법으로 가능성을 보여준바 있다(29). 그러므로 본 실험에서 얻어진 VaporPrint™의 결과로 이취 성분 변화정도를 예측할 수 있다고 판단된다.

RBD palm olein에 돼지기름을 1-20% 범위 안에서 인위적으로 첨가한 경우 산패에서의 이취성분과 마찬가지로 구별이 가능하였는데 첨가된 돼지기름과 SAW센서의 응답간에 결정계수가 0.906의 상관관계를 보여주고 있어 이취 성분에 대한 판정이나 이물질의 첨가로 제조된 부정식품에 대한 판정이 유용함을 제시한 바 있다(30).

지방의 산패는 유도기간이라는 과정에서의 미세한 변화가 어느 시점을 지나면서 급격한 변화가 일어나 산화반응이 가속화된 다. 가열 처리에 의한 휘발성분의 미미한 변화를 여러 가지 분석 방법에 의하여 확인하고 예측할 수 있으나 전자코는 간편하고 신속한 방법이기 때문에 품질관리를 위한 분석에 유용하게 활용될 수 있을 것이다. 특히 GC-SAW를 바탕으로 한 전자코는 아무런 전처리 과정 없이 1분안에 판정이 가능한 이미지를 제공함으로써 분석분야에 비숙련된 사람도 손쉽게 판독하고 예측할 수 있는 방법을 제시하여 줄 수 있어 향후 식품산업 특히나 유지산업 분야의 품질관리에 그 이용도가 크게 확대되리라 기대된다.

요 약

본 연구는 야자유를 190, 220°C에서 24시간 가열한 후 6개의 MOS로 구성된 전자코로 산패정도를 관별하였다. 주성분분석 결과 제1주성분 값이 열처리 시간에 따라 +0.952에서 -0.325로 감소하였다. 가열 온도를 높임에 따라 야자유 산패정도도 증가하였다. 또 다른 방법에 하나로 GC를 바탕으로 한 SAW센서가 부착된 전자코를 사용한 결과 후각이미지가 뚜렷하게 차이가 나는 것을 보여주었다. 160, 220°C에서 가열한 야자유로부터 휘발 성분에 대한 GC peak의 수와 넓이가 가열온도와 가열 처리 시간에 따라 증가함을 보여주었다. 이러한 방법은 신속하면서도 곧바로 알기 쉽게 데이터를 이미지화함으로써 가열 처리된 야자유 휘발성분을 전자코로 신속하고 간편하게 분석하여 가열 처리 정도가 예측 가능하였다.

감사의 글

본 연구는 오리온의 지원을 받아 수행되었음을 감사드립니다.

문 헌

- Megremis CJ. Medium chain triglycerides: A nonconventional fat. *Food Technol.* 45(2): 108-114 (1991)
- Kennedy JP. Structured lipids: Fats of the future. *Food Technol.* 45(11): 76-83 (1991)
- Kwon YA, Yoon SH. Concentration of medium chain fatty acids from coconut oil by supercritical CO₂ extraction. *Food Biotechnol.* 5: 229-233 (1996)
- Nomani MZA, Forbes BA, Mossahebi P, Salita CG, Loth-Haglin MJ, Harvey JL, Brooks JL. Supplementation of energy-restricted diets with coconut oil improves nitrogen balance without elevation of blood cholesterol levels. *J. Food Sci.* 65: 1066-1069 (2000)
- Hyun YH. The study on the thermal oxidation of mixed rapeseed oil with coconut and palm oil. *J. Korean. Soc. Food Sci. Nutr.* 15: 342-349 (2002)
- Lee BR. Comparison of stability of soybean, corn and palm oils added to soybean milk against accelerated oxidation. *Korean J. Oil Chem. Soc.* 2: 39-46 (1985)
- Chun HN, Kim ZU. Evaluation of soybean oil rancidity by pentanal and hexanal determination. *Korean J. Soc. Appl. Biol. Chem.* 34: 149-153 (1991)
- Chun HN, Kim ZU. Headspace gas chromatographic analysis as an objective method for measuring rancidity in soybean oil. *Korean J. Soc. Appl. Biol. Chem.* 34: 154-161 (1991)
- Choi HD. Use and development of sensation sensor. *Bulletin Food Technol.* 8: 122-131 (1995)
- Biswas S, Heidselmen K, Wohltjijn H, Staff C. Differentiation of vegetable oils and determination of sunflower oil oxidation using a surface acoustic wave sensing device. *Food Control.* 15: 19-26 (2004)
- Neotronics Scientific Ltd. An Introduction to Electronic Nose Technology. Essex. UK (1996)
- Taurino A, Capone S, Distante C, Epifani M, Rella R, Siciliano P. Recognition of olive oils by means of an integrated sol-gel SnO₂ electronic nose. *Thin Solid Films* 418: 59-65 (2002)
- Shen N, Moizuddin S, Wilson L, Duvick S, White P, Pollak L. Relationship of electronic nose analyses sensory evaluation of vegetable oils during storage. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 78: 937-940 (2001)
- Tan TT, Loubet F, Bazzo S. Application of the electronic nose for quality control of edible oils. p. 324. In: The 1998 Pittsburgh Conference. Mar. 11-16, New Orleans. Conference on Analytical Chemistry and Applied Spectroscopy, Inc., Pittsburgh, PA, USA (1998)
- Innawong B, Mallikarjunan P, Marcy JE. The determination of frying oil quality using a chemosensory system. *Leben.-Wiss.-Technol.* 37: 35-41 (2004)
- Muhl M, Demisch HU, Becker F, Kohl CD. Electronic nose for deterioration of frying fat-comparative studies for a new quick test. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 102(8/9): 581-585 (2001)
- Han KY, Chung JS, Choi EO, Oh SY, Noh BS. Analysis of volatile compounds for sesame oil containing soybean oil using electronic nose. (abstract no P1-8) In: Abstracts: 67th Korean Food Science and Technology Annual Meeting. Oct. 18-20, Jeju National University, Jeju, Korea (2001)
- Stella R, Barisci JN, Serra G, Wallace GG, Rossi DD. Characterization of olive oil by an electronic nose based on conducting polymer sensors. *Sensors and Actuators B.* 63: 1-9 (2000)
- Yang YM, Han KY, Noh BS. Analysis of lipid oxidation of soybean oil using the portable electronic nose. *Food Sci. Biotechnol.* 9: 146-150 (1998)
- Youn AR, Han KY, Kim JH, Oh SY, Noh BS. Discrimination of rancidity for the heated soybean oil using the electronic nose. *J. Nat. Sci. Inst., Seoul Women's Univ.* 17: 117-130 (2005)
- Staples EJ. Dioxin/Furan detection and analysis using a SAW based electronic nose. Available from: http://www.znose.com/tech_papers/papers. Accessed Aug. 12, 2005.
- AOAC. Official Methods of Analysis, 15th ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington D.C., USA (1990)
- Youn AR, Han KY, Oh SY, Noh BS. Prediction of rancidity for the heated rapeseed oil using the electronic nose. *Food Eng. Progress* 9: 309-319 (2005)
- Staples EJ. Real time characterization of food and beverages using an electronic nose with 500 orthogonal sensors and Vapor-Print™ imaging. Available from: http://www.znose.com/tech_papers/papers/GeneralAnalysis/SenExpo2000C.pdf. Accessed Aug. 12, 2005.
- Kim MA. Influence of interesterification on the properties of fat and oil in cookery science. PhD thesis, Nara Women's University, Nara, Japan (1988)
- Noh BS, Oh SY. Application of electronic nose based on GC with SAW sensor. *Food Sci. Ind.* 35(3): 50-57 (2002)
- Gan HL, Tan CP, Che Man YB, NorAini I, Nazimah SAH. Monitoring the storage stability of RBD palm olein using the electronic nose. *J. Agric. Food Chem.* 90: 271-282 (2005)
- Guadarrama A, Rodriguez-Mendez ML, Sanz C, Rios JL, de Saja JA. Electronic nose based on conducting polymers for the quality control of the olive oil aroma: Discrimination of quality, variety of olive and geographic origin. *Anal. Chem. Acta.* 432: 283-293 (2001)
- Che Man YB, Gan HL, NorAini I, Nazimah SAH, Tan CP. Detection of lard adulteration in RBD palm olein using the electronic nose. *J. Agric. Food Chem.* 90: 829-835 (2005)
- Gan HL, Che Man YB, Tan CP, NorAini I, Nazimah SAH. Characterization of vegetable oil by surface acoustic wave sensing electronic nose. *J. Agric. Food Chem.* 89: 507-518 (2005)