

전자코 시스템을 이용한 우유의 품질에 따른 휘발성 향기성분 분석

강내경¹ · 전태선² · 양윤석³ · 김용신^{2,+}

Analysis of Volatile Flavor Compounds in Milk Using Electronic Nose System

Nae Kyung Kang¹, Tae-Sun Jun², Yoon Seok Yang³, and Yong Shin Kim^{2,+}

Abstract

Volatile flavor compounds from milk were analyzed and identified by using the analysis methods of headspace solid phase microextraction gas chromatography/mass spectrometry (HSPME-GC/MS) and electronic nose (E-Nose) system. About 30 volatile compounds were identified by HSPME-GC/MS for the fresh and off-flavor milk samples. Also, the correlation between rancidity and ageing days of milk was obtained by the aid of principal component analysis algorithm. It shows that the E-Nose system can identify the various types of milk flavor. These results imply that the analysis method based on the E-nose system can apply to the quality control of milk flavor and the rancidity.

Keywords: Electronic nose, Milk, GC/MS, Solid phase microextraction

1. 서 론

우유는 탄수화물, 단백질, 지방 등과 같은 고유의 영양성분 외에도 다양한 영양성분이 함유되어 있어 건강유지 및 영양보충을 위해 모두가 쉽게 이용하는 중요한 식품 중의 하나로서 최근에는 품질을 높이기 위해 저지방 우유, 가공유 등의 다양한 종류의 우유도 개발되어 시판되고 있다[1-3]. 이러한 영양적인 면이 소비자가 우유를 선택하는데 있어 중요한 요소로 작용하기도 하지만, 우유의 향미 또한 중요한 우유선택의 중요한 면이며, 품질을 평가할 수 있는 요인 중 하나이기도 하다. 영양성분

에 대해서는 이미 많은 연구가 진행되어 왔지만, 향미를 좌우하는 우유의 휘발성 향기성분에 대한 정량적인 연구는 아직도 부족한 상황이다[4-6]. 우유에는 수백 가지의 유기화합물들이 존재하나, 다른 식품에 비해 향기성분의 함량이 매우 적다. 따라서 이러한 우유의 휘발성 향기성분을 분석하기 위해서는 추출하는데 어려움이 따르고, GC/MS와 같은 고가의 분석기기가 필요하다. 이러한 이유로 인하여 우유 향기성분 분석에 대한 연구들이 부족하다고 판단된다.

최근에 Valero 그룹은 우유의 저장기간 중의 향기성분의 변화를 Purge and Trap 및 GC/MS를 사용하여 분석하였다[1,7]. 또한 Toso 등은 우유의 휘발성 향기성분을 dynamic headspace 방법을 이용해 GC/MS로 분석하였다[2]. 그러나 최근에는 비교적 간단하고 추출효과가 좋은 headspace solid-phase microextraction (HSPME)법이 향기성분을 추출하는데 널리 활용되고 있으며, 품질평가를 위해 활용할 수 있는 다양한 시스템도 많이 개발되고 있다[2,8].

본 연구에서는 우유의 정량적인 분석은 어려우나, 시료간의 차이점을 정성적인 방법으로 판단 할 수 있는 화학센서 어레이를 장착한 전자코(electronic nose)시스템을 이용하여 우유의 보관 조건 및 시간에 따른 시료의 품질 평가가 가능함을 보여주었다. 또한, 동일한 시료에 대하여 HSPME-GC/MS 분석방법을 적용하여 우유의 휘발성 향기 성분을 정량적으로 분석하여 전자코 분석방법을 실험적으로 검증하였다. 전자코 시스템은 생체 후각 기관을 모방하여 제작한 것으로 감지능이 다른 여러 개의 가스센서를 이용해 동시에 측정된 감응 신호를 이용하여 시료간의 차이점을 패턴인식 프로그램을 통하여 정성적인 방식으로

¹ 수원여자대학교 식품분석연구센터(Food Analysis Research Center, Suwon Women's University)

Suwon Women's University. 72 Onjeong-ro, Gwonseon-gu, Suwon, Gyeonggi-do 441-748, Korea

² 한양대학교 바이오나노공학과(Dep. of Bionano Engineering, Hanyang University)

Hanyang University. 55 Hanyangdaehak-ro, Sangnok-gu, Ansan, Kyeonggi-do, 426-791, Korea

³ 전북대학교 바이오메디컬 공학부 (Division of Biomedical Engineering, Chonbuk National University)

Chonbuk National University. 567 Baekje-daero, deokjin-gu, Jeonju, Jellabuk-do 561-752, Korea

⁺Corresponding author: yongshin@hanyang.ac.kr

(Received : Sep. 16, 2014, Accepted : Sep. 22, 2014)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

시료 상태를 판단하는 것이다. 이러한 분석 방법은 전형적인 GC/MS 시료 분석 방법에 비하여 시스템의 크기가 작고, 특별한 시료 전처리 과정이 필요 없고, 분석 시간이 짧아 저가에 혼합 시료의 단순한 상태 변화를 감지할 수 있다는 장점을 가진다.

2. 실험 방법

본 실험에서 사용된 시료는 시중에 가장 널리 판매되고 있는 카톤팩 포장의 살균우유 1종을 실험대상으로 하여 신선한 상태의 우유와 시간이 경과하여 상한 우유를 가지고 전자코 및 HSPME-GC/MS 분석 장치를 사용하여 우유의 휘발성 향기성분을 분석하였다.

2.1. HSPME-GC/MS

휘발성 향기성분을 포집하기 위해서 다음과 같은 HSPME 방법을 사용하였다. 20 mL 시료를 headspace sampler 용기에 주입하고, polytetrafluoroethylene-silicon 마개를 이용하여 밀봉하였다. 우유에서 휘발성 화합물을 포집하기 위하여 polydimethylsiloxane (PDMS)와 divinylbenzene (DB)가 65 µm 두께로 입혀진 양극성 성질을 가지는 SPME 파이버를 사용하였다. 시료채취 실험은 시료가 담긴 용기에 PDMS-DB 니들을 주입하여 50°C에서 30분간 향기성분을 포집시킨 후, 실온에서 10분간 탈착시켜 GC로 주입하였다. 시료를 주입 전에 GC 주입구를 250°C에서 30분간 가열하여 세척 한 후 사용하였고, 포집하는 30분 동안은 향기성분 화합물들이 파이버에 충분히 흡착할 수 있도록 50°C를 유지하면서 마그네틱 바를 이용하여 시료를 교반 시켜주었다.

GC/MS 분석기기는 Shimadzu 사의 GC-2010에 MS-QP2010 질량분석기가 연결된 장비를 사용하였다. GC/MS 분석조건은 Table 1에 요약 정리하였다. 휘발성 향기성분들은 5% phenyl과 95% dimethyl-polysiloxane으로 구성된 비극성 컬럼인 DB-5(길이 30 m, 내경 0.25 mm, 코팅 두께 0.25 µm)로 분석하였다. 시료주입은 주입구 온도를 250°C로 유지한 상태에서 분주 비율을 5:1로 하

Table 1. GC/MS operation conditions

Classification	Condition
column	DB-5
inlet mode	split (5 : 1)
oven temperature	40°C(2 min), 220°C(2 min), 280°C(13 min)
inlet temperature	250°C
column flow	1.36 ml/min
mass range	35~300 amu
solvent cut time	2 min
interface temperature	280°C
ion source temperature	280°C
threshold	1000

였으며, He 운반기체 하에서 질량분석 검출기를 이용하여 스펙트럼을 얻었다. 시료의 이온화는 전자 충돌 이온화 모드를 사용하였고, 70 eV 이온화 에너지를 사용하여 GC/MS 분석을 수행하였다. 우유 시료에서 포집하여 GC로 분리한 각각의 휘발성 향기성분에 대한 동정은 GC/MS에 의하여 얻은 각 향기성분의 질량 스펙트럼과 Wiley사에서 제공한 표준 GC/MS 스펙트럼을 비교하여 확인하였다. 분석된 향기 성분의 상대적 함량은 GC/MS 크로마토그램에서 얻은 피크 면적으로부터 계산하였다.

2.2. 전자코 시스템

감지부로 사용한 고분자-탄소 나노입자 혼합체 센서는 아래와 같이 제조하였다. 고분자 용액은 10 mL chloroform 또는 THF 용매에 75 mg 고분자를 완전히 녹여 준비하였다. 이 고분자 용액에 15 mg 전도성 탄소 나노입자(BLACK Pearls 2000 또는 700)를 추가로 넣어 주어서 고분자-탄소 나노입자 혼합체 용액을 제조하였다. 탄소 나노입자를 균일하게 분산시키기 위해서 초음파 발생기로 2분 정도 분산시켰다. 센서는 유리기판 위에 300 µm 간격으로 Au 전극이 형성된 빗살 구조(comb-shaped) 센서기판을 이용하여 제작하였다. 감지막은 센서기판 위에 2.0 mL 혼합체 용액을 드롭-캐스팅(drop-casting)하여 제작하였다. 제작된 센서는 100°C 진공 오븐에서 10시간 동안 건조하였다. 이와 같은 방법으로 16가지의 서로 다른 고분자-탄소 나노입자 혼합체 센서를 제조하였다. 센서 제작에 사용된 고분자, 용매, 전도성 탄소 나노입자는 센서 번호에 따라 Table 2에 정리하였다.

16개의 고분자-전도성 탄소 나노입자 혼합체 센서 어레이를 이용한 전자코 시스템 측정은 크게 두 단계로 나누어 수행하였다. 먼저 우유에 존재하는 대표적인 휘발성 화합물로 알려진 향기성분 중에서 1-hexanol (100 ppm), 1-pentanol (500 ppm),

Table 2. Polymer-carbon black composite sensors

ID	Polymer	Solvent
1	ethyl cellulose	THF
2	polystyrene- <i>b</i> -polyisoprene- <i>b</i> -polystyrene); 14% PS	chloroform
3	hydroxypropyl cellulose	chloroform
4	poly(butadiene)	THF
5	poly(ethylene- <i>co</i> -acrylic acid)	THF
6	poly(4-vinylpyridine) ^a	chloroform
7	poly(ethylene- <i>co</i> -vinyl acetate)	chloroform
8	poly(vinyl stearate)	THF
9	poly(4-methylstyrene) ^a	chloroform
10	polycaprolactone	chloroform
11	cellulose acetate	THF
12	poly(styrene- <i>co</i> -maleic anhydride)	THF
13	poly(styrene- <i>co</i> -acrylonitrile)	chloroform
14	poly(Bisphenol A Carbonate) ^a	chloroform
15	poly(4-vinylphenol)	THF
16	polystyrene	chloroform

^a Add 50 wt% dioctylphthalate (DOP)

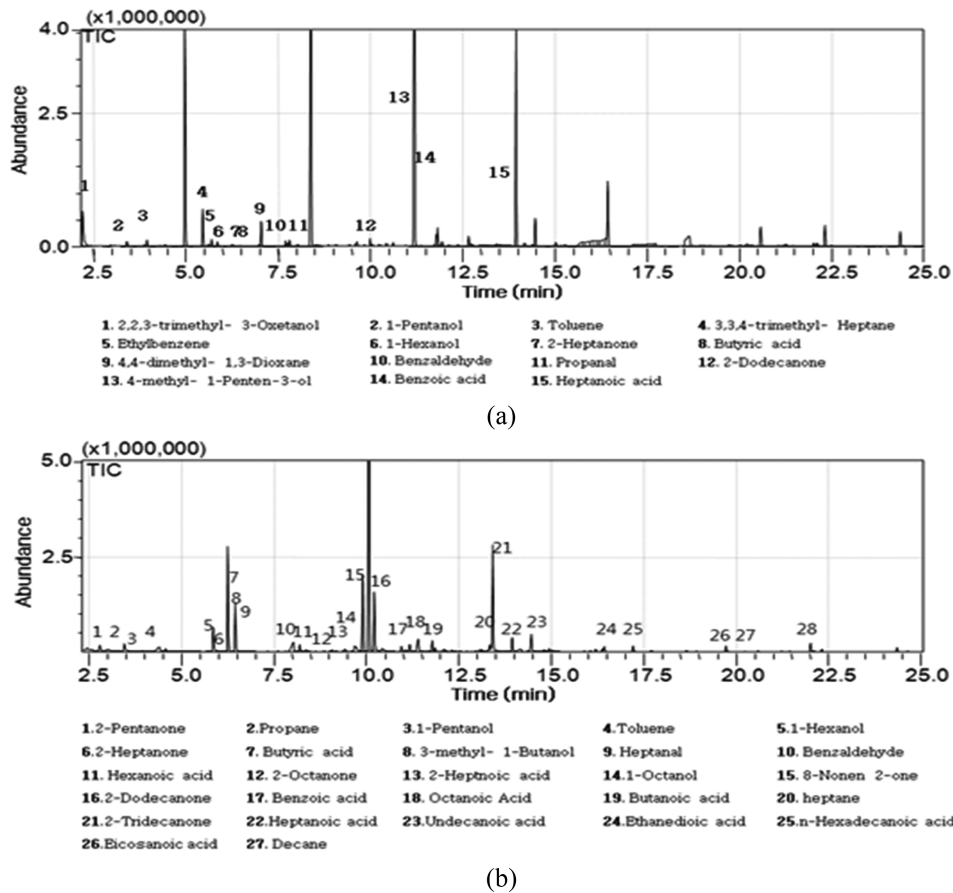


Fig. 1. Chromatograms of (A) fresh milk and (B) decaying milk stored for 7 days at room temperature.

acetaldehyde (1,000 ppm), butyric acid (2,000 ppm), heptanoic acid (100 ppm) 5가지를 선택하여 분석 가능함을 테스트 하였다. 다음으로 측정 대상인 우유를 이용하여 전자코 분석 실험을 수행하였다. 우유 시료는 보관 기간 및 보관 온도에 대한 변화를 확인하기 위하여 다음과 같은 두 가지 방법으로 수행 하였다. 하나는 항온수조에서 20°C를 계속 유지하면서 신선한 상태에서의 우유와 보관 기간이 1일부터 5일까지 매일 동일한 조건에서 분석 하였다. 두 번째는 우유의 저장 온도를 0°C, 50°C로 다르게 하여 신선한 우유, 4일 경과한 우유, 7일 경과한 우유로 위와 동일한 조건에서 분석 하였다.

초기의 센서 저항은 digital multimeter (3458A, Agilent)에 의해서 측정하였다. 센서 측정 반응은 digital interface card (DAQ 6062E, NI)를 이용하여 컴퓨터를 이용하여 측정 저장하였다. 측정된 아날로그 시그널은 10 Hz 샘플링 속도로 전송되었고, LabVIEW 환경에서 제작한 프로그램으로 처리하였다. 이처럼 센서에서 발생한 아날로그 신호가 시스템 하드웨어 전자 회로에 의해서 측정되고, DAQ 카드를 통하여 디지털로 변환, 저장되면 이를 이용하여 소프트웨어 프로그램을 이용하여 통계처리 하였다. 구체적으로 패턴 인식은 Origin 프로그램에서 수동으로 각 피크마다 최대 센서감응 값을 결정하고 이를 이용하여 MatLab

환경에서 주성분 분석(principal component analysis, PCA)을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. HSPME-GC/MS를 이용한 분석

기초 실험을 통하여 비극성 PDMS 화이버의 경우에는 흡착이 잘 일어나지 못하였고, 극성 polyacrylate 화이버의 경우에는 용매에 비해서 향기성분 분자들의 피크 면적이 작아서 분석함에 어려움을 확인하였다. 따라서 본 실험은 가장 좋은 향기성분 흡착 특성을 보여주는 양극성 PDMS-DB 파이버를 이용하여 우유 시료에서 휘발성 성분을 포집하여 실험을 수행하였다. Fig. 1(A)과 1(B)는 양극성 파이버를 이용하여 분석한 신선한 우유와 실온에서 7일 동안 방치한 상한 우유에 대한 GC/MS 분석에서 얻은 total ion chromatogram을 각각 보여준다. 관측된 휘발성 화합물들을 숫자로 구분하였고, 이들에 대한 화합물 명칭을 그림 아래에 정리하였다. 신선한 우유에서는 2-heptanone, 2-dodecanone과 같은 ketone 화합물; benzaldehyde, propanal과 같

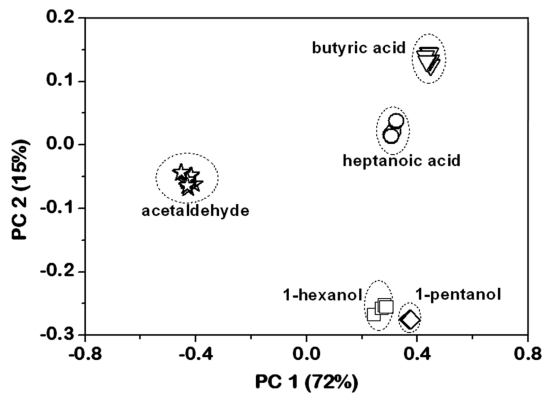


Fig. 2. PCA plot for 5 representative chemicals of milk.

은 aldehyde 화합물; 2,2,3-trimethyl-3-oxetanol, 1-pentanol, 1-hexanol, 3-methyl-1-butanol, 1-octanol, 4-methyl-1-penten-3-ol과 같은 alcohol 화합물; propane, toluene, ethylbenzene, 4,4-dimethyl-1,3-dioxane, heptane, decane과 같은 hydrocarbon 화합물; butyric acid, benzoic acid, heptanoic acid와 같은 acid 화합물들이 관측되었다. 신선한 우유에서는 alcohol류 및 hydrocarbon류 성분의 피크 면적이 다른 휘발성 화합물 성분들에 비하여 크게 관측되었다. 반면에 상한 우유에서는 5 종류의 ketone 화합물(2-pentanone, 2-octanone, 2-dodecanone, 8-nonen-2-one, 2-tridecanone), 2 종류의 aldehyde 화합물(heptanal, benzaldehyde), 4 종류의 alcohol 화합물(1-pentanol, 1-hexanol, 3-methyl-1-butanol, 1-octanol), 4 종류의 hydrocarbon 화합물(propane, toluene, heptane, decane)을 관측할 수 있었다. 그리고, butyric acid, hexanoic acid, 2-heptynoic acid, benzoic acid, octanoic acid, butanoic acid, heptanoic acid, undecanoic acid, ethanedioic acid, n-hexadecanoic acid, eicosanoic acid, tetradecanoic acid와 같은 11 종류의 acid 화합물을 확인 할 수 있었다. 이처럼 상한 우유에서는 신선한 우유에서는 발견 되지 않은 다양한 acid 화합물들이 추가적으로 형성되었고, 신선한 우유에 존재 했던 acid류 butyric acid, benzoic acid, heptanoic acid 성분들도 피크 면적이 크게 증가 하였다.

상한 우유에서 이러한 acid 화합물 형성은 상온에서 장시간 방치함으로써 유당분해효소(lactase)에 의해 유당이 분해가 되어 -COOH 작용기를 가지는 acid 화합물들이 만들어지기 때문이다. 이러한 화학 변화에 의해 카제인(casein)이 응고 되고, 우유의 향미를 떨어뜨릴 수 있는 좋지 않은 향이 발생한다. 또한 상한 우유에서 다량 존재한 butyric acid는 치즈에 존재하는 유기산들 중에서 가장 많은 양이 존재하고 있다고 알려져 있다. 그리고 2-dodecanone, benzaldehyde, 1-pentanol, 1-hexanol, 3-methyl-1-butanol, toluene 1-octanol, decane 화합물들도 acid류 성분들과 마찬가지로 상한 우유에서 함량이 증가하였다. 일반적으로 케톤류 화합물들은 열처리를 이용한 살균과정에서 생성될 수 있는 부산물이고, 알데히드류 화합물은 유산균의 미생물학적 작용에 의해 생성되고, 알코올류 화합물들은 미생물의 알코올 발효에

의해 생성이 된다고 알려져 있다[9,10]. 본 실험에서 얻은 우유의 성분 변화 결과에서도 살균 작용에 의해 형성되는 케톤 화합물에 비하여 발효에 의하여 형성되는 알코올 화합물의 증가가 두드러짐을 관측할 수 있었다.

결론적으로 양극성 파이버를 이용한 HSPME 시료 포집법과 GC/MS 분석을 이용하여 신선한 우유와 상한 우유의 휘발성 화합물 성분 분석을 효과적으로 수행할 수 있었다. 이러한 성분 분석은 우유의 품질과 상태를 정량적으로 확인할 수 있는 방법이지만, 위에서 서술한 바와 같이 세심한 시료 전처리 과정과 고가의 GC/MS 분석법을 사용하여야 하는 단점을 가지고 있다.

3.2. 전자코 시스템을 이용한 분석

우유에 대한 전자코 분석이 가능한지를 미리 판단하기 위하여, GC/MS 분석을 통해 우유 시료에 존재하는 대표적인 휘발성 화합물인 1-hexanol, 1-pentanol, acetaldehyde, butyric acid 및 heptanoic acid 화합물에 대한 전자코 시스템을 이용한 분석 실험을 먼저 수행하였다. 측정된 휘발성 화합물들의 패턴 인식을 위해 앞에서 설명한 바와 같이 10회 반복 측정에 대한 평균 감지 민감도 값들을 결정하였다. 다섯 종류의 측정 시료에 대하여 얻은 감지 민감도 실험을 통하여 에탄올 시료에 비해 약간 낮은 민감도 값인 0.05-2.0 정도의 크기를 보였고, 특징적으로 1-pentanol은 센서-5와 센서-6에서 높은 감지 민감도를 보였고, acetaldehyde는 센서-7과 센서-14에서 높은 민감도를 보여주었다. 이처럼 센서마다 특정 화합물에 대해서 고유한 센싱 감도 값을 얻을 수 있었다. Fig. 2는 감지 민감도 평균값을 사용하여 PCA패턴인식을 실행한 결과를 보여준다. PC1과 PC2의 누적 기여율이 89%이었다. PCA 분석 결과에 따르면 1-hexanol, 1-pentanol, acetaldehyde, butyric acid, heptanoic acid 화합물들이 2차원 PCA 그래프에서 다른 위치에 군집하고, 이는 PCA 분석으로 우유 휘발성 화합물 구별이 가능함을 의미한다. 세부적으로 알코올 화합물인 1-hexanol과 1-pentanol은 가까운 위치에서 그룹으로 모여 있고, acid 화합물인 heptanoic acid와 butyric acid 또한 비슷한 영역에서 그룹이 관측되었다. 하지만 알데하이드 화합물인 acetaldehyde 그룹은 이들 그룹과 좀 떨어진 영역에서 독자적으로 군집되어 있는 형태를 보여주었다. 결론적으로 고분자-탄소 혼합체 센서 어레이를 이용한 전자코 분석으로 우유에 존재하는 휘발성 화합물들에 대한 구별이 가능함을 보여준다.

20°C에서 우유 시료의 보관 시간 경과에 따른 성분변화 무무를 제작된 센서 어레이를 이용하여 측정하였다. 측정은 초기 신선한 상태의 우유를 5일 동안 실온에서 보관하면서 24시간 간격으로 5일 동안 매일 수행하였다. 모든 센서에서 시료가 주입되자 저항 값이 증가하였고, 이러한 감지 반응은 약 1분 동안 저항 값이 증가하다가 시료 주입을 멈추면 약 50초 이내에 원래 상태로 돌아가는 시간에 따른 감지 반응을 보여 주었다. 하지만 각각의 센서는 우유 시료에 대해 고유한 감지 민감도를 가

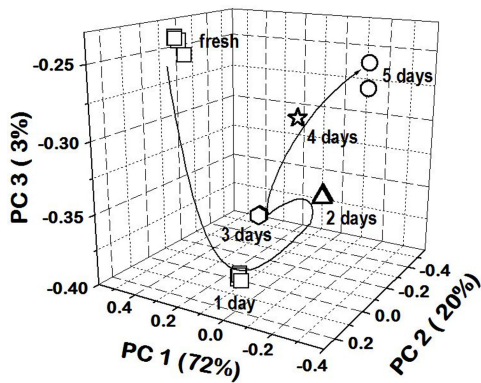


Fig. 3. 3D PCA plot of a milk sample according to the storage date.

지고 있었다. 제작된 센서 어레이를 이용하여 시간 경과에 따른 우유 시료들의 데이터 분석을 위해 주성분 분석을 수행하였다. 감지 민감도 평균값은 동일한 우유 시료에 대해서 5회 반복 측정하여 얻었다. 우유 시료에 대한 감지 민감도 값의 크기는 0.1-0.9 정도의 크기를 나타내었고, 각 우유 시료마다 가장 큰 민감도 크기를 가지는 센서들이 달랐다. 예를 들어 신선한 우유에서는 센서-13이 비교적 큰 민감도 값을 보였고, 1일 경과한 우유에서는 센서-7이 큰 민감도 값을 보여주었으며, 5일 경과한 우유에서는 센서-6이 큰 민감도 값을 보여주었다. 이러한 차이는 앞서 언급했듯이 시료와 특정 고분자간의 상호작용의 차이로 볼 수 있는데, 우유 시료와 선택적인 상호작용이 잘 일어날 수 있는 기능을 갖는 고분자를 사용하여 제작한 센서에서 강한 감지 민감도를 가짐을 보여주기 때문이다. 시간 경과에 따라서 다른 종류의 센서들이 가장 큰 민감도를 보여주는 것은 시간에 따라서 우유에서 발생하는 휘발성 성분이 변화를 의미한다.

Fig. 3은 보관 날짜별 우유에 대한 감지 민감도 값을 이용하여 패턴인식을 실행한 결과를 3차원 그래프로 보여준다. 세가지 주된 성분(PC1-3)에 대한 누적 기여도가 95%였다. 신선한 우유와 1일 경과한 우유의 PC1값은 거의 비슷했고, 2일이 경과한 우유 시료부터는 하루가 지날 때 마다 PC1이 작아지는 것을 볼 수 있다. 이처럼 우유 시료마다 서로 다른 영역에서 그룹을 지었으며, 뚜렷하게 구분이 되었다. 따라서 시간에 따른 우유 시료를 제작된 전자코 시스템을 이용하여 분석하면 패턴인식 방법으로 우유 상태에 대한 구별이 가능하였다.

추가적으로 저장 온도를 다르게 하여 보관한 우유 시료를 시간 경과에 따라 동일한 방법으로 분석 하였다. 저장 온도와 저장 기간을 제외하고는 다른 분석 조건은 모두 동일하게 하였다. 0°C에서 신선한 우유를 측정하고, 저장 온도 0°C로 4일 경과한 우유, 7일 경과한 우유를 측정하였다. 그리고 저장 온도 50°C로 4일 경과한 우유, 7일 경과한 우유를 측정하였다. Fig. 4는 측정된 데이터를 이용하여 분석한 PCA 분석 결과이다. 저장 온도에 따라 그룹별로 뚜렷하게 구분 되는 것을 볼 수 있었으며, 저장 온도 20°C에서 분석한 결과에서처럼 우유의 저장 기간이 길

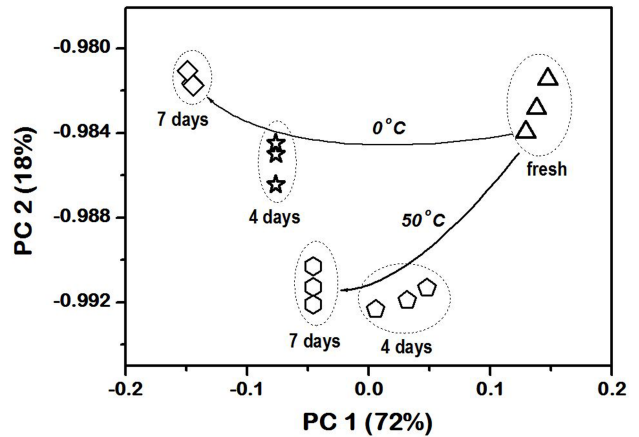


Fig. 4. 2D PCA plot of a milk sample according to the storage date and temperature.

어질수록 제 1 주성분 값이 작아지는 것을 볼 수 있었다. 이러한 결과들은 우유 시료의 저장 기간에 따른 패턴 분석이 가능하고, 추가적으로 저장 온도에 따라서도 패턴이 달라짐을 보여준다. 이는 우유의 휘발성 성분이 저장 온도 및 보관 기간에 따라서 달라지기 때문에 이러한 화합물 성분 변화를 전자코 분석 방법을 통하여 구분할 수 있음을 보여준다.

4. 결 론

시중에 유통 중인 우유를 대상으로 신선한 우유와 실온에서 보관하여 7일 경과한 상한 우유의 휘발성 향기성분을 HSPME-GC/MS 방법으로 분석하였다. GC/MS로 분석하여 검출된 주요 성분으로는 우유의 주요 이취성분으로 알려진 ketone류 및 alcohol류 성분 들이었다. 대부분 유기산 성분들인 butyric acid, heptanoic acid, undecanoic acid, benzoic acid, butanoic acid등은 상한 우유에서 그 양이 증가하거나 새로이 검출되었다. 동시에 16종의 고분자-탄소 나노입자 혼합체 센서를 이용하여 제작한 센서 어레이를 이용하여 20°C에서 저장 기간에 따른 우유 시료를 가지고 전자코 분석 실험을 수행하였다. 우유 시료마다 서로 다른 PCA 영역에서 그룹을 지었으며, 뚜렷하게 구분이 되었다. 따라서 시간에 따른 우유 시료를 제작된 전자코 시스템을 이용하여 분석하면 패턴인식 방법으로 우유 상태에 대한 구별이 가능하였다. 따라서 이러한 전자코 분석방법은 GC/MS를 이용한 복잡한 성분 분석 대신에 비교적 신속하고 간단한 전자코 시스템을 이용하여서도 우유의 품질변화를 평가 할 수 있는 장점을 보여준다.

감사의 글

This research was supported by Basic Science Research

Programs through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education, Science and Technology (NRF-2012R1A1A2005473 and 2010-0027569).

REFERENCES

- [1] E. Valero, M. Villamiel, B. Miralles, J. Sanz, and I. Martinez-Castro, "Changes in flavour and volatile components during storage of whole and skimmed UHT milk", *Food Chem.*, Vol. 72, No. 1, pp. 51-58, 2001.
- [2] B. Toso, G. Procida, and B. Stefanson, "Determination of volatile compounds in cows' milk using headspace GC-MS", *J. Dairy Res.*, Vol. 69, pp. 569-577, 2002.
- [3] M. M. Calvo, and L. de la Hoz, "Flavour of heated milks. A review", *Int. Dairy J.*, Vol. 2, No. 2, pp. 69-81, 1992.
- [4] K. R. Christensen and G. A. Reineccius, "Gas chromatographic analysis of volatile sulfur compounds from heated milk using static headspace sampling", *J. Dairy Sci.*, Vol. 75, pp. 2098-2104, 1992.
- [5] B. Wang, S. Xu, and D. W. Sun, "Application of the electronic nose to the identification of different milk flavorings", *Food Res. Int.*, Vol. 43, No. 1, pp. 255-262, 2010.
- [6] A. Loutfi, S. Coradeschi, G. K. Mani, P. Shankar, and J. B. B. Rayappan, "Electronic noses for food quality: A review", *J. Food Eng.*, Vol. 144, pp. 103-111, 2015.
- [7] M. P. Villeneuve, Y. Lebeuf, R. Gervais, J. C. Vuilleumard, J. Fortin, and P. Y. Chouinard, "Milk volatile organic compounds and fatty acid profile in cows fed timothy as hay, pasture, or silage", *J. dairy Sci.*, Vol. 96, No. 11, pp. 7181-7194, 2013.
- [8] R. R. Early and A. P. Hansen, "Effect of process and temperature during storage on ultra-high temperature steam-injected milk", *J. Dairy Sci.*, Vol. 65, No. 1, pp. 11-16, 1982.
- [9] I. J. Jeon, E. L. Thomas, and G. A. Reineccius, "Production of volatile flavor compounds in ultrahigh-temperature processed milk during aseptic storage", *J. Agric. Food Chem.*, Vol. 26, No. 5, pp. 1183-1188, 1978.
- [10] B. E. Loney, R. Bassette, and T. J. Claydon, "Chemical and flavor changes in sterile concentrated milk during storage", *J. Dairy Sci.*, Vol. 51, No. 11, pp. 1770-1775, 1968.