식품산업 분야에서의 2세대 전자코의 응용과 활용가능성

Application of the second generation of electronic nose and its useful possibility in food industry

이수진, 노봉수
Soo Jin Lee and Bong Soo Noh

서울여자대학교 식품공학과
Department of Food Science and Technology, Seoul Women's University

Abstract

Applications of the second generation of electronic nose in various field such as new food product development, slight rancidity during induction period, classification of similar products, discovery of odor, and odor reduction were reviewed. The possibilities of using electronic noses in areas that are difficult to analyze so far would be done in the future. It is believed that the utility value is expanded not only in the food industry but also in other areas.

Keywords : Application, electronic nose, food

서 론

식품산업에서 품질관리나 신제품개발 과정에서 품질평가 및 적절한 배합비와 공정을 선택하는데 최우선으로 비중을 두어야 하는 항목은 식품의 독특한 맛과 향이다. 아무리 기능성이 탁월한 제품이라 하더라도 변질된 향을 소비자가 느끼게 된다면 더 이상 제품으로 사랑을 받을 수가 없다. 식품의 이취 성분을 판별하는 것이나 바람직한 향미를 찾아내는 일 모두 핵심의 관건이다.

식품제조 공정과 유통 저장조건에서 여러 가지의 휘발성분이 생성되므로 이들을 분석하고 관리하는 일은 중요하다. 휘발성분을 측정방법으로는 주관적인 방법인 관능검사법과 객관적인 방법인 기계적

* Corresponding author : Bong Soo Noh
Department of Food Science and Technology, Seoul Women's University,
Hwarang-Ro 621, Nowon-Gu, Seoul, 01797 Republic of Korea
Tel: +82-2-970-5636
Fax: +82-2-970-5977
E-mail: bs210069@gmail.com / bsnoh@swu.ac.kr
Received November 20, 2017; revised December 15, 2017; accepted December 16, 2017

분석법으로 크게 나누어 볼 수 있다. 주관적인 방법인 관능검사의 경우 여러 장점에도 불구하고 식중독의 위험이 뒤따르거나 부패된 식품 또는 변질 가능성이 우려되는 식품에서 이취 성분은 관능검사 요원마저도 꺼리는 어려운 점이 있다. 혹여 이취성분이 매우 적은 양이라 불쾌감을 조성하지는 않는다 하더라도 유해물질일 가능성이 높다고 판단되면 인체를 대상으로 확인 작업에 참여하는 일은 위험을 초래할 수도 있기 때문이다.

객관적인 분석 방법인 gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)와 같은 분석방법이 이러한 문제를 부분적으로 대신해 줄 수는 있을 것이다(1,2). 분석기기 장비를 사용하면 불쾌한 성분이나 유해물질을 밝힐 수 있다는 점 외에도 이들의 종류와 농도까지도 밝힐 수 있으며 많은 시료에 대하여도 높은 재현성을 제공할 수가 있다. 그러나 원하는 성분이외의 다른 물질들을 분리시켜야 하는 전처리 작업이 필요하며 성분의 특징에 따라 그에 합당한 칼럼을 선택해야 하고 또 적절한 분리조건 등을 확립해야 한다. 이러한 일은 잘 훈련된 사람에 의해 효율적으로 이루어지며 또 얻어진 수많은 피크성분 중 이취나 바람직한 향과 관련된 성분을 찾아내는 일은 또 다른 문제다(3).

커피의 경우 수많은 피크 중에서 관심이 있는 65가지의 성분만 따로 선별하여 판별을 하는데 너무 많은 성분을 분석할 수 있다고 하여도 과연 어느 성분이 우리가 찾고자하는 향미와 관련이 있는지 여부를 파악하는 일은 힘겨운 일이다. 뿐만 아니라 두 가지 이상의 성분이 상승효과를 가져올 수도 있고, 또 상쇄되는 경향을 보일 수도 있다. 이러한 부분은 구체적으로 밝혀 내기에는 한계가 있다. 패턴인식 형태로 분석해야 되는 일을 성분 하나하나로 분석하려 한다면 상호 연관성을 찾아내기 어렵다. 따라서 이런 문제를 극복하기 위하여 전자코를 비롯한 다양한 분석기기를 사용하여 데이터의 상호연관성을 추적하거나 또는 관능검사결과와 함께 해석하는 시도들이 최근 많이 이루어지고 있다(4-7).

이제까지 활용되어 왔던 metal oxide 센서나 conducting polymer 센서를 토대로 한 1세대 전자코시스템을 한 단계 발전된 2세대 전자코는 가스 크로마토그래피 시스템(GC)나 질량 분석기(MS)를 바탕으로 하는 전자코시스템을 말한다. 본 논문의 목적은 최근 그 활용도가 확대되고 있는 2세대 전자코가 어떤 특성을 가지고 있으며 그것들이 어떻게 여러 응용분야에 활용되었는지에 대하여 살펴보고자 한다.

본론

전자코의 필요성

객관적인 기기분석 방법이 반드시 바람직한 것만은 아니다. GC분석의 결과 한 성분의 피크 면적이 크다고 해서 그에 해당하는 휘발성분의 향이 강하다고 느낄 수 있는 것이 아니다. 항상 그 타당성을 관능검사를 통해 비교 확인하여야 하며 높은 상관관계가 인정될 때에만 활용가치가 있다. 따라서 사람의 관능검사와 GC를 병행하여 실시하는 GC Olfactometry의 방법은 어떤 성분이 특이적인 성질을 갖는 휘발성분인지 여부를 추적하는 것인데 이 또한 GC와 같이 설치비용과 운영비용이 많이 들고, 냄새표현에 대한 잘 훈련된 경험과 식별능력을 가진 숙련된 작업자가 있어야 하고 많은 시간이 필요하다는 문제점을 안고 있다.

이와 같은 경우 데이터의 해석은 패턴인식이라는 방법으로 해결 방안을 제시하여 특이한 성분 한두 가지로 해석하기 보다는 여러 가지 휘발성분들이 어떤 종류가 각각 얼마의 양으로 전체적인 향을 대변하고 있는지를 토대로 해석하는 방안인데 일종의 지문을 인식하는 방법과 같은 방법을 활용하

고 있다(8-9). 앞서 언급한 문제들을 풀어 나갈 수 있는 방안으로 전자코의 활용도가 최근 활발히 이루어지고 있다. 전자코를 식품 분야에 활용한 경우에 대하여 앞서 언급한 총설논문을 참고로 하기 바란다(10-11).

전자코가 소개된 것은 1980년대 초반이지만 그 이후로 이취나 향미 측정에 대한 수요는 끊임없이 높아져 왔으며 식품 과학(12-15) 뿐 만 아니라 환경공학분야(16-18), 의료분야(19-21) 등 다양한 분야에서의 요구가 지속적으로 증가하고 있는 추세다.

이취의 측정을 위한 방법으로 사람보다는 기기를 활용하는 편이 나으며 장기간의 시간을 두고 향미를 비교하는 경우, 사람에 의한 분석결과를 기억을 토대로 비교하는 데에 한계가 있다. 그리고 많은 시료를 한꺼번에 판단하는 것도 관능검사 요원의 피로도로 인해 어려움이 있다. 이런 문제의 대안으로 '전자코'를 내세울 수가 있었다.

1세대 전자코

휘발 성분의 패턴을 분석하는 방법에는 가스가 흡착, 탈착에 따른 전기저항변화를 분석하는 방법, 전기화학적으로 가스 농도 변화에 따라 전류내지는 기전력의 변화를 분석하는 방법, 질량분석기를 이용한 가스분자의 무게분석법, 광학적인 색상 변화 분석법 등 다양하다(22-25).

전자코의 전통적인 개념은 가스센서의 배열을 기반으로 하는데 이들 센서는 비특이적 센서를 사용하여 왔다. 이 방법은 매우 간단하게 접근할 수 있는 방법으로 원리가 간단하고 제조비용이 상대적으로 매우 저렴하여 특수한 목적을 위해서는 널리 이용되고 있는 전자코 시스템이다. 예를 들면 쌀의 등급만을 측정하는 전자코나 생선의 신선도만을 측정하는 전자코, 과일의 숙성도 혹은 신선도를 측정하는 전자코 시스템은 비교적 특정한 휘발성분만을 대상으로 하기 때문에 센서의 수도 많지 않고 간단하게 제조할 수 있는 특징이 있다. 그러나 메탈옥사이드 센서나 콘덕팅 폴리머센서의 경우 화학물질과 센서와의 화학반응을 통해 전류의 저항의 차이를 이용하여 판명하는데 센서의 수명이 제한적이고 화학반응과 전기저항이 습도에 영향을 받을 수 있는 단점이 있으며 그리고 시료에 따라 각기 다른 비특이적 센서를 선택해야하는 어려움이 있고 베이스라인의 불안정을 보상해 주어야 하는 또 다른 소프트웨어의 도입이 요망되는 어려움이 남아있다.

뿐만 아니라 국내에서도 많은 형태의 센서를 만들어 이를 이용한 전자코 시스템을 제조(26-31) 하였으나 이들은 센서의 재현성면에서 기능이 떨어지는 이쉬움이 남아 있었다. 상품화된 전자코의 경우 대략 천 여개 센서를 구입하여 이 중에서 재현성이 좋은 30개 정도를 선발하여 전자코시스템을 구축하는데 활용되어 상품화되고 나머지 센서는 모두 폐기처분하다 보니 실험실 레벨에서 구축한 전자코 시스템과 비교하여 재현성에서 우위를 차지하는 것으로 나타났다. 그러다 보니 센서가격에서 경쟁력이 있는 제품이 아니고서는 실험실 레벨에서 구축한 전자코시스템의 분석 능력은 상대적으로 떨어진다고 볼 수 밖에 없다. 그럼에도 불구하고 이취나 향의 패턴인식에 있어서 어느 정도 구분이 가능한 센서를 현장에 적용하는 데에는 무리가 없다. 다시 말하면 품질관리 측면에서는 사용상에 큰 어려움이 뒤따르지는 않지만 정밀한 분석을 요하는 경우에는 재현성에 대한 신뢰가 떨어지는 것으로 말미암아 사용하기에 부족한 면이 많다는 것이다.

후각을 기계적으로 구현하는 전자코는 반도체 발달에 따른 센스 에레이 금속산화물 등 전기화학적 변환기가 주로 이용되고 있으나, 이외에도 비중이나 열, 혹은 광학센서도 이용된다. 이런 경우 전자코는 가격, 이동성, 사용상의 용이성의 장점을 가지고 민감도를 높이고 선택범위를 확장하는 많은 연

구를 수행하고 있지만 사람의 코를 대체할 보편적인 장비에 도달하기까지는 재현성에 관한 문제, 베이스라인을 일정하게 유지하는 방안, 한번 사용 후 재사용까지 클리닝을 수행하는 데에 필요한 시간, 복합적인 휘발성분의 작용으로 두 휘발물질간의 상호작용으로 향미가 상승하거나 또는 마스킹 효과를 가져 오는 경우에 대하여 아직 해결해야 할 문제가 많다. 그런 가운데 이와 같은 문제는 제2세대 전자코의 도입으로 다소 해결의 실마리를 찾아 나갈 수 있었다.

2세대 전자코

가스 크로마토그래피 시스템, 질량 분광기(MS), 이온 이동도 분광계(ion mobility spectrometry, IMS) 및 광학 시스템이 기존의 전처리 과정을 통해 일단계 과정을 거쳐 일부 성분을 분리하고 난 뒤에 특정 성분들에 대하여 반응을 하는 방법을 거치지 않고 미량의 다른 성분까지도 복합적으로 모두 분석을 실시하되 관심있는 미량 성분간의 차별성을 갖는 ion fragment 등을 가상적인 센서로 생각하고 여러 개의 ion fragment 값들을 센서어레이 방식을 적용한 것과 같은 형태로 바꾸어 고려하면서 새로운 의미의 2세대 전자코라고 불리게 되었다.

응답 신호로서의 해당 피크를 보여주는 GC나 IMS의 경우 각각 전통적인 크로마토그래피 분리 방식을 통하지 않고 분석을 통해서 얻어지는 머무름 시간별로 얻어지는 감응도나 ion fragment 별 m/z 값의 신호응답을 센서어레이로 활용하는 방안을 도입하게 되었다는 점이다. 이러한 분석 방법은 전처리 과정이 생략되어 상대적으로 복잡성이 확대되기는 하였지만 응답신호의 안정성에 그리 영향을 미치지 못한다는 장점이 있다.

여기서 얻어진 정보들은 주로 다변량통계분석을 통하여 패턴분석이 이루어지는데 전자코 분석에 많이 활용되는 통계방법은 판별함수분석법(discriminant function analysis, DFA)이다. 전자코의 각각의 channel에서 얻어진 감응도 값은 matrix형태로 기록되었으며 휘발성 냄새성분으로부터 생성되는 10−200 amu의 ion fragment 중, 시료간의 차별성(discriminant power 값)이 높은 20−30개의 fragment (m/z)를 독립변수로 선택하여 판별함수분석을 실시하였고 종속변수에 영향을 주는 독립변수를 검정하였다.

$$DFA=B_0+B_1X_1+B_2X_2+B_3X_3\cdots\cdots\cdots\cdots+Bn\times n$$

DFA는 판별함수 값, B_0는 constant값, B_1는 coefficients를, X는 각각의 amu값에서의 감응도를 나타낸다. 독립변수 중 종속변수를 예측할 수 있는 판별함수 값은 DF1, DF2, DF3……DFn으로 나타냈다. 여러 독립변수들 중에서 종속변수에 영향력을 주는 순서를 기준으로 DF1 (discriminant function first score)과 DF2 (discriminant function second score)를 비교하여 각 시료간의 휘발성분의 차이를 전체적인 패턴으로 나타낸다(32). x축에 DF1을 y축에는 DF2에 의한 2차원 그래프로 표현하여 시료간의 차이를 구별한다. 경우에 따라서는 DF1과 DF3, DF2와 DF3로 나타내기도 하며 혹은 DF1, DF2, DF3를 3차원의 그래프로 나타내기도 한다.

GC를 바탕으로한 전자코 시스템의 경우 기존의 논문을 통하여 발표된 모든 휘발성분의 GC 크로마토그램에서 머무름 시간을 바탕으로 얻어진 데이터베이스를 이용하여 해당되는 휘발성분의 물질이 무엇인지까지도 밝혀내기도 한다. 휘발성분에 대한 정확한 규명을 하지 못하는 경우라 하더라도 GC에서 얻어진 peak 값을 주성분분석이나 판별함수 분석 등을 통해 패턴인식을 행하기도 한다. 휘발성분이 감소되는지 혹은 생성되는지 경우에 따라서 패

턴분석결과의 차이를 바탕으로 품질관리나 원인 규명을 실행하는 데에 활용이 되고 있다.

전자코라는 것이 소개된 지는 불과 40년도 안되지만 2000년대 들어와서 많은 연구들이 이루어졌고 그 활용도 또한 다양한 분야로 끊임없이 확대되고 있다. 2017년 11월 현재 구글에서 electronic nose라는 키워드를 입력하였을 때 바로 응답되는 건수는 무려 7,780,000개나 될 정도로 엄청난 정보를 쏟아내고 있다. 그리고 식품에 관련된 총설 논문(전자코, 식품, 총설논문으로 검색한 경우)만도 670,000개나 검색될 정도로 엄청나게 많다(33). 따라서 최근에 활용된 전자코 응용 중에서도 식품산업체에서의 활용성이 높을 것으로 예상될 뿐 아니라 소비자 입장에서 이런 전자코 시스템을 활용하는 것이 식품에 관한 안전 정보를 확보하는데에 있어서도 매우 필요한 것이라 여겨진다.

전자코의 응용

(1)신제품개발

신제품 개발시 타켓이 되는 제품과의 비교할 때 타켓이 되는 제품이 갖고 있는 향기패턴과 개발하고자 하는 제품의 향기 패턴을 비교하면서 배합비를 바꾸거나 공정의 조건을 변화하거나 하면서 만들어진 제품의 향기 패턴을 비교하게 된다. 이 과정에서 제품 개발에서 부딪히는 어려움 중 하나가 과연 우리가 개발한 제품이 경쟁제품과는 어떤 정도의 차이가 나며 또는 근접이 이루어졌는가를 정확히 예측하기가 어렵다는 점이다.

제주도의 도시개발공사에서 제조한 제스피 맥주의 경우 이런 과정을 거쳐 2차 시제품은 초기에 비하여 더욱 개선되었으며 몇 차례의 새로운 시도를 통해서 수입맥주의 품질에 근접하는 맥주를 제조하였다(Fig. 1, (34))

고추장처럼 자극이 심한 제품의 개발에서도 관능

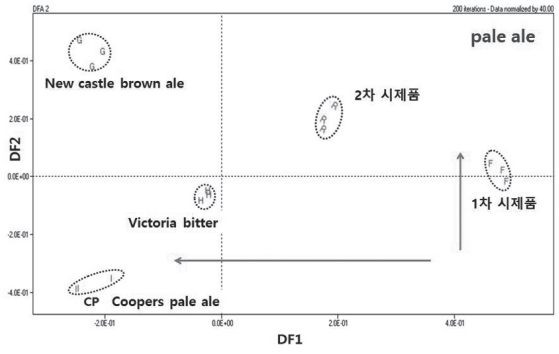

Fig. 1. Discriminant function analysis of the electronic nose data for flavor pattern of pale ale beers (DF1: r^2=0.9964, F=743.98, DF2: r^2=0.9924, F=346.72) (35)

검사 요원들이 너무 강한 고추장의 향미를 접하고 난 뒤에 다음 시료를 분석하는데 어려움이 나타나는 것처럼 맥주가 비교적 알코올 도수가 낮고 또 마셔버리는 상태로 검사하는 것이 아니지만 술을 잘 못하는 관능검사 요원이라면 익숙하지 않은 맥주시료에 대하여 거부감이 나타날 수도 있는 문제이다. 이런 불편한 사항에선 전자코와 같은 분석방법이 매우 효과적일 수가 있다.

전자코에 의한 분석의 경우 맥주가 향분석이 주요한 부분을 차지한다고도 볼 수도 있지만 맛으로 느낄 수 있는 부분도 영향을 미칠 수 있다고 여겨져 전자혀에 대한 분석이 함께 이루어지긴 하였으나 이 논문(35)에서는 전자혀가 제공해 주는 데이터 정보가 전자코 데이터를 해석하는데 유용하게 활용이 되지는 못하였다. 이런 문제들은 메트릭스에 따라 달라질 수 있으며 물에 가까운 맥주와 고체성분이 포함된 경우 혹은 다양한 맛이 나는 메트릭스에서는 상호 보완적인 부분이 극복시켜줄 수 있으므로 보다 많은 시행 착오 과정을 통해서 해결이 되어야 할 것으로 보인다.

사람에 의해 이루어지는 묘사분석을 통해 개발방향으로 근접이 용이한 경우와는 달리 말로 전달할

수가 없는 동물사료의 개발에서는 또 다른 어려움이 뒤따른다. 애완용 동물의 신제품 품질에 대한 향미분석 결과를 어떻게 확보할 것이냐 하는 문제다. 애완동물인 개나 고양이 등의 사료를 개발함에 있어 사람이 맛을 보고 판단을 내리는 것처럼 동물패널이 있지만 그저 좋아한다는 정도 이외에는 인간패널이 수행한 것과 같은 다양한 묘사 분석을 할 수가 없다. 이런 한계를 극복할 수 있는 방법으로 동물들의 반응과 이들이 좋아하는 향미를 추적하기 위해 전자코와 전자혀를 함께 사용하여 8가지의 배합비 시료를 토대로 적절한 배합비를 갖는 신제품을 개발하는 방법을 찾아내는데 활용되기도 하였다(36,37). 아직은 초기 단계라서 이와 관련된 연구결과가 보다 더 많이 이루어져야 하겠지만 현시점에서는 매우 고무적인 일이다. 향후 다양한 애완동물의 사료를 개발하는데 있어 여러 종류의 애완동물이 좋아하는 향미를 찾아 줄 수 있다는 측면에서 사료제품에서의 전자코와 전자혀의 활용도가 높아질 것으로 보인다.

(2)지방산패 초기단계 추적

지방이 산패되는 과정은 초기 유도기간을 거친 후 급격한 변화가 일어나는데 초기 단계에서 미세한 차이는 기존의 산패측정방법인 카보닐가, TBA가, 과산화물가 등으로 구분이 되지 않는다. 물론 60℃와 같은 높은 온도에 저장중에는 산패정도(38)가 뚜렷하여 짧은 기간이라 하더라도 과산화물가 등의 변화를 관찰할 수는 있지만 실온에서 LED 종류를 달리하여 저장중에 일어난 변화는 매우 미미하다. 이와 같은 유도기간에서의 산패 차이를 관찰한 연구에서 MS를 바탕으로한 전자코는 명확하게 그 차이를 구분해 줄 수가 있었다(39-41).

유통과정 중에 마트 등에 설치할 LED 전기등을 어떤 색의 LED를 선택함으로써 유도기간을 연장하는 효과를 가져오는지를 보여준 바 있다. 이와 같은 미세한 변화는 기존의 분석방법과 같이 분석을 위해 전처리 과정을 거치는 과정에서는 손실된 가능성이 높다. 따라서 전처리 과정없이 생성된 모든 휘발성분을 토대로 직접 분석에 도입되는 것이 오히려 바람직할 수 있다. 극미량의 변화를 추적하는 데에 있어 전처리가 번거로울 수도 있으며 이런 경우 전처리없이 분석하는 방법을 선택하는 것이 바람직하다고 여겨진다. 여느 전자코와 마찬가지로 전처리 과정을 생략한다는 점이 전자코 분석의 장점이기 때문이다. 지방 산패 뿐만 아니라 매우 미세한 이취정도를 판별하는 과정에서도 많은 경우 이취의 주성분이 지방성분인 경우가 많아 효율적으로 문제를 찾아 낼 수 있다고 본다. 품질관리를 추적하는 경우 정량분석이나 동정분석이 뒤따를 필요가 없다면 이런 부분에서는 매우 효율성이 높은 전자코 시스템이라고 말할 수 있다. 그러나 MS를 바탕으로한 전자코 시스템은 감도가 매우 좋지만 ion fragment를 토대로 하여 물질을 동정하기에는 너무 복잡한 성분들이 혼재해 있다. 전처리 과정이 없이 이루어지다 보니 여러 성분들이 혼재되어 있어 물질을 동정하기에는 어려운 단점이 있다. 그러나 모델시스템에서 제한적인 상태에서 여러 물질이 함께 존재하지 않는 경우에는 정량수준으로 ppb까지 분석이 가능하다. 그런 측면에서 본다면 GC를 바탕으로한 전자코 시스템과 함께 활용하여 여기서 관여하는 이취 물질이 어떤 물질에 해당하는 물질인지 동정을 추적하는 연구가 뒤따랐으면 한다.

(3) 유사품과 구분

전자코가 가장 많이 활용되고 있는 분야가 바로 가짜 제품을 찾아내거나 원산지를 판정하는 분야에 해당이 될 것이다. 원산지의 판별에 전자코가 활용된 것에 대하여 전보에서 언급한 바 있다(42). 원산지를 속이는 제품의 분석이나 가짜제품의 분석은 많은 면에서 일치를 한다. 종(species)이 서로 다른

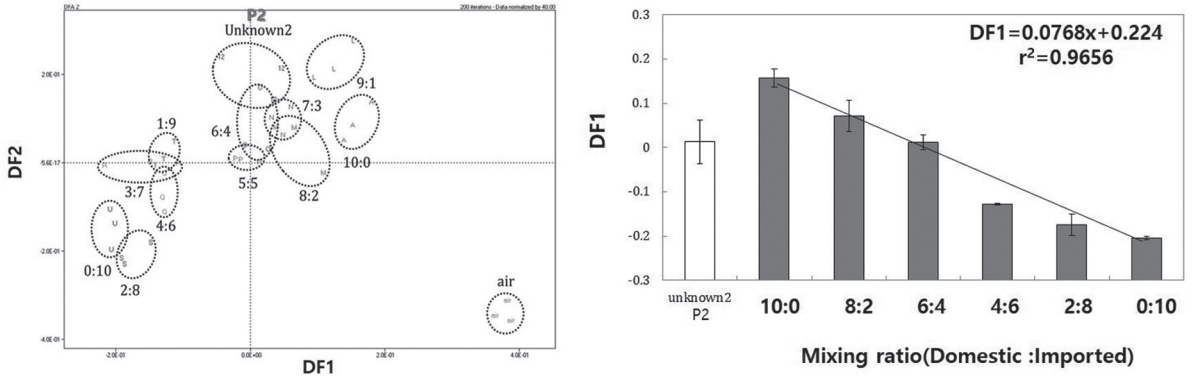

Fig. 2. Discriminant function analysis of the obtained data from electronic nose data for red ginseng extracts (a). The relationship between DF1 of Fig. 4(a) and mixing ratio of different geographical origin of red ginseng extracts. Unknown samples(#2) was applied to DFA (DF1: r^2=0.9800, F=106.04; DF2: r^2=0.9517, F=42.73) (43)

경우 DNA 분석을 통해서 쉽게 이루어 질 수 있다. 그러나 같은 품종의 경우 많은 열처리 공정을 비롯한 가공처리는 원료 및 메트릭스의 변화로 서로 간에 차이점을 발견하기는 매우 어렵다.

유사제품을 이용하여 눈을 속이는 기술이 날로 발전하여 예기치 않은 경우들이 발생하고 있다. 이를테면 홍삼과 같이 9번을 증자하는 경우 많은 종류의 휘발성분이 휘발되어 날아가고 유전자 분석을 시도하여도 대부분의 인자들이 변성되거나 하여 기존의 방법으로는 어려움이 예상되는데 이런 기술적인 한계를 파악하여 홍삼농축액의 일부를 혼합하여 판매하는 방법이 등장하였으나 이 또한 MS를 바탕으로한 전자코를 사용하여 10% 레벨의 혼입정도를 예측하여 수입산 홍삼농축액이 혼입되었음을 파악하기도 하였다(Fig. 2, (43)). 이와 같은 패턴인식 방식이 정확도가 높은데도 불구하고 지표물질 위주의 분석으로 식품을 관리하는 식약처 입장에서 표준이 되는 분석 방법으로 자리를 잡지 못한다는 것은 아쉽다. 최근에는 날로 지능이 높아지는 유통업자들의 횡포를 막아나서는 일에 큰 기대감을 제공하였다는 측면에서 볼 때 인공신경망과 더불어 인공지능을 활용하게 될 미래에는 활용될 기술이라면 이와 같은 접근 방식에도 관심을 가져야 할 것이다. 그러기 위해서는 보다 많은 데이터의 분석과 그에 따른 인공지능 분석결과 보다 많이 축적되어야 한다.

원산지를 속이는 경우도 한층 발전되어 한국에서의 품종을 가져다가 생산한 다음 국내산으로 속이는 경우인데 비교적 한국과 기후나 토질이 비슷한 지역을 선택하여 그 차이가 나지 않게 재배를 하곤 한다. 고시히카리 품종의 경우 일본산과 국내산 쌀 품종에서도 DNA유전자 분석으로는 판별하지 못하였으나 inside needle direct extraction 방법으로 농축효과를 높혀서 원산지를 판별하였는데(44) 전처리 과정은 아니지만 needle 안에 농축을 시키는 방법으로 분리를 가능하게 하였다. 이와같은 방법을 도입함으로써 극미량의 시료에 대한 추적은 다양한 분석방법에서 그 활용이 가능할 것으로 보인다.

(4) 전자코의 소형화

아무리 좋은 분석 시스템이라 하더라도 현장에서 활용되거나 일반 소비자들이 이용할 수 있으려면 시스템 자체가 매우 간편하고 소형화가 되지 않으면 안된다. 전자코가 셀폰 크기 정도로 소형화되

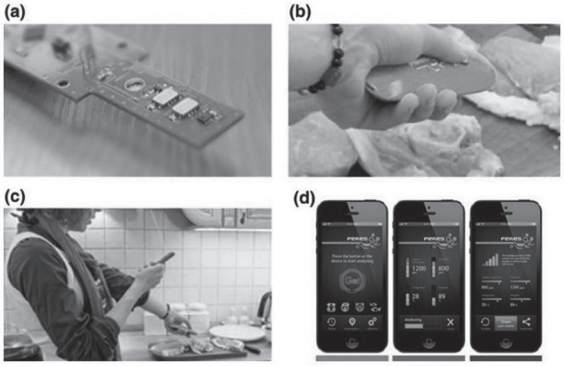

Fig. 3. A portable commercial electronic nose named PERES. a Structure. b User simply directs PERES toward the meat and clicks a button to complete detection. c A detailed result with recommendations regarding the safety of the detected meat would be provided on a mobile phone. d The user interface of PERES (52)

고 보편화되어 일반인들이 손쉽게 사용할 수 있게 개발되어 소개되었다. 과거 생선 전자코(fish nose)처럼 생선의 신선도만을 측정할 목적으로 전자코가 제작되어 활용된 바 있다(49-49).

이러한 전자코 시스템은 다양한 휘발성분을 측정할 필요가 없고 단순하게 특정 부패 미생물이 발생시키는 냄새만을 포착하여 부패여부를 판별하는 것이 가능하다(50). 특정 분야로만 압축하여 사용하면 소형화가 가능하다. 이런 시스템을 발전시켜 생선류와 되지고기를 함께 측정하는 시스템이 소개되었고(51), 최근에는 이에 덧붙여 쇠고기와 닭고기 등 미국인들이 즐겨 먹는 4가지 육가공제품들에 대한 분석이 일반주부들도 손쉽게 할 수 있도록 제공되었다(52). 이런 모듈은 셀폰과 연결하여 앱을 설치함으로써 간편하게 육류제품의 신선도를 판단할 수 있게 되었다(Fig. 3).

일반 분석기기의 원리를 이해 못하는 소비자들도 쉽게 시각적으로 오염 유무를 판단할 수 있다는 점이다. 그러나 기능을 압축하다 보니 육류의 신선도라는 특정한 목적이외 다른 분야에는 적용하기가 어려운 단점이 있다. 그것은 전자코 내부 센서의 수를 제한하고 필요에 따라 다른 기능을 갖는 센서로 대체하기가 용이하지가 못하여 선택된 목적을 위해서만 상용이 가능한 것이다. 가격을 낮춘 대신에 응용범위가 좁아졌다는 점이다. 한편, 쌀의 품질 등급을 위해 만들어졌던 Cyranose 제품이 미생물 검출용으로 출시되어 식품이나 의료용으로도 사용할 수 있다고 하였으나 가격이 저렴함에도 불구하고 보급정도는 미미한 상태이다(53). 소비자들이 쉽게 인지할 수 있도록 연결시켜주는 시각적인 소프트웨어가 필요하다고 여겨진다.

향후 이러한 모델은 건강진단 시스템과도 연결되어 각종 검사의 초기단계를 1차로 선별하는데 전자코를 이용하여 활용해 나갈 수 있을 것이다. 현재로선 다양한 임상단계에서 일반인의 건강상태를 체크할 수 있으며 이러한 정보가 담당 주치 의사에게 보내진다면 초기단계에서 질환에 의한 피해를 최소화할 수 있을 것이고 나아가 건강관리 차원에서 그 활용를 넓혀나갈 수 있겠다.

(5) 이취분석의 확대

전자코에서의 가장 두드러진 오류라면 이취 정보에 대한 기대치다. 전자코의 신호로부터 얻어진 정보는 지금 당장의 냄새 정보라고는 말할 수 없다. 왜냐하면 인간의 지각으로 감지할 수 있는 냄새는 있지만, 사실 전자코는 그보다도 더 미세한 양을 감지함으로써 인간의 능력을 뛰어 넘은 극미량을 분석해 낸다. 사실 전자코에서 얻어진 신호 즉, 우리가 찾고자하는 휘발성분의 흔적과 더불어 여기에 혼합된 일부 다른 이취의 신호도 포함이 되어 있으며 대부분은 휘발성이 덜한 물질이다. 따라서 전처리 과정은 생략되었지만 전자코 분석기기로 시료가 주입되기 전에 온도를 높여 휘발할 수 있는 물질을 끄집어 내놓고 이물질들을 분석함으로써 나중에 유통과정이나 저장기간이 지난 후 발생될 성분

들을 알아내는 것이 단순히 기존의 조건에서의 휘발성분을 발표하는 것이 아니라 시료 안에 숨겨진 냄새 정보를 파악하고 있다는 점이다. 이는 대부분의 전자코시스템이 이런 방식으로 접근하여 분석을 하고 있다.

전자코는 냄새성분이 이취인지 좋은 향인지 모른다. 그것은 사람에 의해 결정되는 것이고 향의 강도가 어느 방향으로 향하느냐에 따라 이취가 강한지 약한지를 판정할 뿐이다. 이취 분석은 한 가지 센서로 해결할 수 있는 성분이 아니다. 그리고 너무 많은 성분들이 복합적으로 작용하기도 하므로 분석하기가 쉽지가 않은 경우도 있다.

과일의 성숙도를 나타내는 휘발성 지표물질은 품질의 등급을 결정하는 중요요소지만 부패되기 시작하는 경우 냄새 역치가 낮은 이취물질은 신속하게 측정이 이루어져야 한다(54-57). 과일에서 생성되는 휘발성분은 성숙도 뿐만 아니라 유통이나 저장과정중 상처를 입어 품질가치가 떨어진 경우 다른 과일에도 피해를 옮길 가능성이 높기 때문에 미미한 변질이라도 사전에 발굴해 별도처리하는 것이 바람직하다. 따라서 비파괴적인 방법으로 신속하게 측정할 수 있는 방법으로 전자코의 사용은 적절하다고 여겨진다.

미생물의 종류에 따라서도 이취는 다른데(58-60) 이는 미생물마다 생산하는 대사산물이 다르기 때문에 그러한 부분까지도 구분을 할 수 있어야 한다. 미생물이 내놓는 이취 분석은 식품의 품질관리 뿐만 아니라 인체 내에서 일어나는 각종미생물이나 세포 등에 의해 나타나는 질병을 예측하는 데에 활용되는 원리와도 같다고 본다. 식품소재에 따라서도 각각 구성성분의 차이로 인하여 나타나는 이취성분을 전자코로 분석한 바 있으며(61-66) 뿐만 아니라 포장재 재질로부터 이취가 이행되는 경우도 있는데(67), 포장재로부터 이행이 되었는지 여부를 관찰하는 경우 물과 포장재질인 병과 뚜껑이 각기 다른 재질로 구성이 되어 있어 이를 관찰하기 위해서는 각기 다른 전처리가 따를 수 밖에 없다. 그리되면 각기 다른 전처리 과정에서 이취가 발생이 되었는지 아니면 오염된 물로부터 발생이 되었는지를 구분하기가 용이하지가 못하다. 이런 경우 특히 전처리 과정이 없이 분석을 하는 것이 바람직하며 미세한 이취성분의 경우 전처리 과정에서 손실 가능성이 높으므로 전자코 분석을 선택하는 것이 바람직하다. 물론 별도의 처리를 통해 이런 미세한 이취를 분리하여 농축함으로써 GC분석이 가능할 수도 있겠지만 그러한 경우 전자코에 비하면 분석시간 등 훨씬 비효율적인 부분도 포함되기 때문이라고 판단된다.

현재로선 진정한 의미의 이취센서가 마땅한 것이 없다는 점이다. 기존의 가스센서는 선택성이 뒤떨어져 유사한 이취 물질에 대하여 특징적으로 응답을 하지 못하며 이외에도 감도면에서도 이취 대상물질의 역치값에도 못 미친다는 문제점을 내포하고 있다. 다만 GC나 MS를 바탕으로한 전자코를 사용하여 패턴 인식을 통해 포괄적으로 해석을 하고 있는 것에 불과하다. 그럼에도 불구하고 이런 시도는 식품산업 분야에서 품질을 관리하거나 식품의 안전을 확보하는데 있어서도 매우 중요한 역할을 해 오고 있다는 점이다.

Fig. 4에서 보는 바와 같이 이취 저감화 효과가 어느 정도 이루어졌는지 혹은 어느 정도 타켓제품의 향미에 근접이 되어가고 있는지를 평가하는 방법이다. 우리가 구분하기 힘든 상황에서 이취를 검출한다거나 그러한 발견으로부터 어떻게 이취문제를 개선해 나갈 수 있는지를 제시해 주고 있다고 여겨진다. 전체적인 향미의 패턴으로 분석하였지만 이를 보다 객관적인 수치로 표현할 수도 있겠는데 현재 다양한 접근 방법을 사용하여 이러한 문제들을 풀어 나가려는 노력들을 하고 있다. 두부의 저장 과정중 휘발성분들의 변화를 주성분 분석으로 나타내고

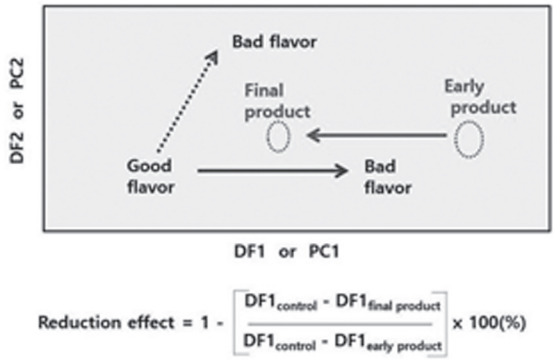

Fig. 4. Reduction effect of off–flavor is shown in the discriminant function analysis plot/principal component analysis plot.

그중 제1주성분을 하나의 변수로 생각하여 Kinetics를 적용한 것이나 미지의 온도 조건에서의 예측되는 제1주성분을 토대로 불규칙한 온도조건에서의 품질 변화를 예측한 경우에서 볼 수 있듯이 향미패턴을 객관적인 값으로 수치화해 볼 수 있었다는 시도가 전자코 결과를 해석해 나가는데 핵심의 열쇠가 될 수 있을 것으로 보인다.

(6) 다른 분석방법과 혼용

전자코에서 얻어진 데이터는 대부분 주성분 분석이나 다변량통계분석을 통해 패턴인식을 한다. 그러나 이 방법은 통계프로그램을 돌려야 하는 것이며 경우에 따라서 어떤 데이터를 선택하느냐에 따라서 구별하는 정도가 달라질 수가 있으며 초보자가 이를 이해하기에는 다소 어려움이 뒤따른다. 그러나 GC를 바탕으로 한 전자코 시스템(68-72)에 부착된 프로그램 중 VaporPrint™을 사용하는 경우(Fig. 5) 쉽게 판단할 수가 있어 현장에서도 누구나 정확한 정보를 얻을 수 있는 장점을 가지고 있다.

이처럼 시각적인 분석으로 판별을 쉽게 하는 방법이 있는가하면 Data Base를 활용하여 주요성분을 동정할 수 있는 시스템도 있다(74,75). 이것 역시 GC를 바탕으로 한 전자코 시스템으로 얻어진 피

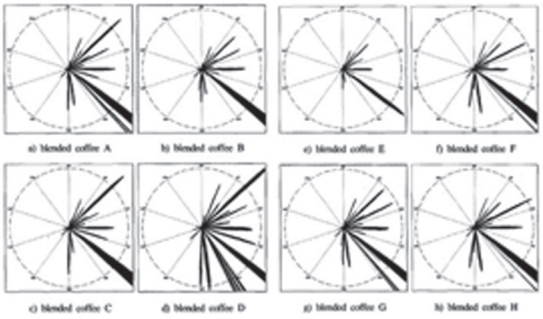

Fig. 5. Derivative peak patterns of roasted coffee beans from eight commercial brands by VaporPrint™ image program. (73)

크 중 관심있는 주요 성분까지 동정할 수 있는 장점이 있으나 물질의 동정을 하는 과정이 전처리 과정을 거치지 않고 이루어지기 때문에 많은 종류의 피크로부터 선별해야 한다. 따라서 물질 동정 예측작업이 다소 시간이 걸리며 소프트웨어의 사용가격이 비싸다는 단점을 갖고 있다. 패턴인식 프로그램과 함께 전자코 등에서 많이 활용되는 시스템으로 인공신경망을 예로 들을 수 있으며 이는 사전에 많은 실험데이터를 확보하고 이 데이터를 학습과정을 통하여 조건별로 어떤 특성이 있는지 여부를 알고 있는 것과 비교하여 판단하는 방법이다. 두부를 여러 온도별로 전자코분석을 하고(76-78), 여기서 얻어진 데이터를 이용하여 Kinetics를 적용하면 미지의 온도에서도 품질 변화를 예상할 수 있으며 미지의 시료에 대한 품질 상태 판단할 수가 있다. 이런 방식으로 소형화된 전자코시스템과 셀폰을 연결하여 인공신경망을 통해 미리 학습된 데이터를 비교함으로써 손쉽게 품질의 상태를 비교하여 판단할 수가 있다. 이때 학습된 데이터는 미리 서버에 저장하여 셀폰의 앱을 통해 전달하면 되는 방식이다.

전자코를 비롯한 분석 장비들이 나름대로 장점도 있지만 완벽히 문제를 해결해 주지 못하는 경우들도 있다. 이런 경우 다른 기기 분석 장비와 함께 혼용함으로써 부족한 문제를 해결하는 경우가

있다(79).

그러나 이와 같은 경우 복합적 신호를 해석하기 위해서는 우선 뇌의 활성화와 사람이 인지한 정도 간의 상관성 여부를 분석할 필요가 있다. 이를 위해서는 뇌의 활성화 지도를 만들고 이를 토대로 뇌의 활성화 부위와 후각, 미각 신호와의 관계를 해석할 수 있어야 한다. 이와 함께 식품 뿐만 아니라 다양한 물질에 대한 성분분석과 관능 평가가 동시에 이루어져 다양한 성분이 혼합되어 있을 때 인지되는 후각, 미각간의 비교를 통해 객관적인 평가 기준을 마련할 수 있을 것이다.

예를 들면 전자코 장비와 함께 전자혀나 전자눈 혹은 그 외의 장비들을 함께 사용하여 정확도를 높여 나가는 방법들을 시도하여 좋은 성과를 보여주고 있다. 커피의 원산지(80), 민물돔 틸라피아(81), 올리브유의 품질(82,83), 이탈리아 체리의 원산지(84), 블랙티 등급(85), 동물성 원료의 유무판단(86), 포도주의 품질(87)에서 보는 바와 같이 전자코를 단독으로 활용하는 것보다도 전자혀나 전자눈을 함께 사용하는 경우에 훨씬 더 판별효과가 높아지는 것으로 나타나 전자코분석 결과에서 미진한 부분의 인자를 다른 기기의 분석결과가 보충해주는 효과를 가져오는 것으로 나타났다. 전자코 분석에서 큰 의미가 없다고 생각된 인자들이 전자혀나 전자눈에서는 매우 중요한 인자로 작용하여 이 결과를 전자코 결과와 함께 통계프로그램을 돌리는 경우 차별성이 더욱 뚜렷하게 구분되어졌던 것이다. 분석기기의 복합활용은 다른 분야에서도 적용되었던 것으로 효과적인 분석정도를 극대화시킬 수 있다.

뿐만 아니라 관능검사를 통해서 얻어진 데이터가 전자코나 전자혀의 분석에 의해서 얻어진 데이터를 보정해줄 수 있고 인공신경망이나 VaporPrint™ 이미지 프로그램과 같은 것들이 함께 접목이 되면 보다 정확도가 높아진 품질 정보를 얻을 수 있을 것이다(Fig. 6).

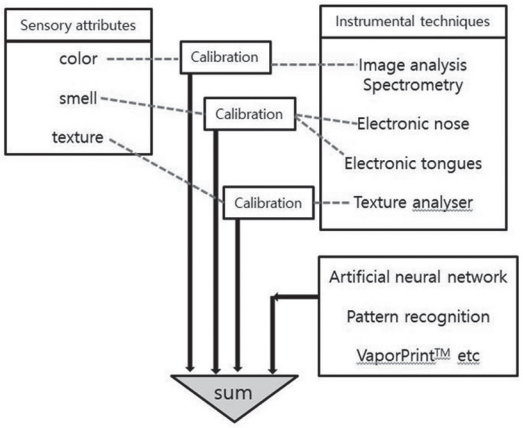

Fig. 6. Combination of instrumental techniques after calibration with sensory data and various software program for sum of quality index.

이와 같은 발전은 가까운 미래에 진정한 의미의 전자코 기능을 수행할 수 있는 시스템이 제작될 것으로 여겨진다. 그럼에도 많은 연구자들은 이를 받아들이는데 주저하고 있으며 이취 문제를 전자코로 풀어 나가는 경우에서도 하나의 경향을 토대로 해석할 수 밖에 없었다는 점은 아쉽다.

아무리 전자코가 분석기기로서 많은 역할을 할 수 있다고 하더라도 전자코는 시간을 절약하고 노동력을 절약할 수 있다는 장점을 가졌다면 그에 맞는 역할을 해야 하며 전자코가 적용될 수 있는 분야도 다른 방법을 통해서도 받아들일 수 있는 합리적인 결과가 도출되어야만 가능한 것이다. 그럴 때 식약처의 식품공전에서도 지표물질 없이도 기준분석방법으로 거듭날 것으로 보인다.

결론

여기서는 신제품개발에서의 응용가치, 유도기간에서의 미미한 산패, 유사제품의 구분, 우리가 구분

하기 힘든 이취의 발견과 개선을 위한 시도 등을 살펴보았다. 이제까지 분석하기 어려운 부분이나 우리가 미처 시도하지 못한 영역에서의 2세대 전자코의 활용 가능성이 여러 가지 새로운 의미를 제시해 주고 있다. 식품분야에서뿐만 아니라 타 영역에서도 그 이용가치는 확대되라고 여겨진다.

전자혀나 전자눈과 같은 감각을 대변하는 분석기기를 통해서 지표물질로 대변되는 하나의 기준을 바탕으로 하지 않고서도 시료간의 차이, 동질성과 이질성을 통해 구분해 줄 수 있었다는 점이다. 이것이 식품 품질의 차이를 규정하는데 큰 역할을 한 것이며 미세한 차이이긴 하지만 이 속에서도 이질성에 따라 등급을 통해 구분해 나간다면 우리가 이야기할 수 있는 품질의 차이를 객관화 해주는 일이라고 여겨진다. 차이가 없는 것처럼 보여왔던 미세한 것들도 결국은 차이가 있음을 보여주는 것으로 그러한 차이의 이질성을 나타낼 수 있다면 충분히 우리가 목적하는 바를 얻어 낼 수가 있는 일이다.

전자코는 오랫동안 크게 신뢰할 수 있는 장비로 인식되지는 못하였다. 지문을 통해서 패턴인식을 한다고는 하지만 전자코가 바로 지문을 만들어주는 것이 아니며 우리가 그물질, 혹은 해당하는 향미에 맞는 지문을 만들어 갔다고 보이기 때문이다. 다변량분석과 같이 n차원의 그림을 그려서 해석을 한다는 것은 매우 어려운 일이며 그 속에서 지문을 만들어 내는 일조차도 훈련되지 않은 분석자라고 한다면 어려움을 겪을 것이다. 그럼에도 이러한 문제를 극복한 시스템들이 여러 종류의 소프트웨어가 소개됨으로써 일부분 해결이 되었고 또 다른 분석방법과의 비교과정을 통해 상호 연관성을 발견하기도 하면서 우리가 그동안 모르고 있었던 부분들에 대한 해석의 실마리를 풀어 주고 있다. 향후 이런 분석기기간의 협력과 다양한 소프트웨어 프로그램을 통해 간편하고 판단하기가 용이한 전자코 시스템이 다양한 분야에서 그 활용가능성을 높여 나가리라 기대하며 앞으로도 다른 분석기기들과의 상호연관성을 통해 우리가 발견하지 못하고 있는 조그만 차이로 인한 이질성을 어떻게 확대해 나가고 해석해 나아가야 하는지는 앞으로 풀어나가야 할 과제라고 여겨진다.

참고문헌

1. Hodgkin D. Simmonds D. Sensory technology for flavor analysis. Cereal Foods World 40: 186-191 (1995)
2. Chou UD. Use and development of sensation sensor. Bulletin Food Technol. 8: 122-131 (1995)
3. Fisk ID. Kettle A. Hofmeister S. Virdie A. Kenny JS. Discrimination of roast and ground coffee aroma. Flavour 1: 14 (2012)
4. Shilbayeh NF. Iskandarani MZ. Quality control of coffee using an electronic nose system. Am. J. Appl. Sci. 1: 129-135 (2004)
5. Michishita T. Akiyama M. Hirano Y. Ikeda M. Sagara Y. Araki T. Gas chromatography/olfactometry and electronic nose analyses of retronasal aroma of espresso and correlation with sensory evaluation by an artificial neural network. J. Food Sci. 75: S477-S489 (2010)
6. Baldwin EA. Bai J. Plotto A. Dea S. Electronic noses and tongues: Applications for the food and pharmaceutical industries. Sensors 11: 4744-4766 (2011)
7. Vietoris V. Zajác P. Čapla J. MendelováA. KrižanováK. BenešováL. Comparison of coffee species by sensory panel and electronic nose. J. Microbio. Biotech. Food Sci. 5: 234-237 (2015)
8. Fu J. Li G. Qin Y. Freeman WJ. A pattern recognition method for electronic noses based on an olfactory neural network. Sensor Actuat. B: Chem. 125: 489-497 (2007)
9. Fu J. Huang C. Xing J. Zheng J. Pattern classification using an olfactory model with PCA feature selection in electronic noses: Study and Application. Sensors. 12: 2818-2830 (2012)
10. Kim SR. Flavor analysis of foods by electronic nose. Food Sci. Ind. 30: 126-133 (1997)
11. Noh BS. Analysis of volatile compounds using electronic nose and its application in food industry. Korean J. Food Sci. Technol. 37: 1048-1064 (2005)
12. Stetter JR. Findlay MW. Schroeder KM. Yue C. Penrose WR. Quality classification of grain using a sensor array and pattern recognition, Anal. Chim. Acta 284: 1-11 (1993)
13. Bartlett PN. Elliott JM. Gardner JW. Electronic noses and their application in the food industry. Food Technol. 51: 44-48 (1997)
14. Schaller E. Bosset JO. Escher F. 'Electronic Noses' and their application to food. Lebensm.-Wiss. u.-Technol. 31: 305-316 (1998)
15. Bourrounet B. Talou T. Gaset A. Application of a multigas sensor

device in the meat industry for boar-taint detection. Sensor Actuat. B 26-27: 250-254 (1995)
16. Capelli L. Sironi S. Rosso RD. Electronic noses for environmental monitoring applications. Sensors 14: 19979-20007 (2014)
17. Baby RE. Cabezas M. de Reca ENW. Electronic nose: a useful tool for monitoring environmental contamination. Sensor Actuat. B: Chemical 69: 214-218 (2000)
18. Tang K-T. Chiu S-W. Pan C-H. Hsieh H-Y. Liang Y-S. Liu S-C. Development of a portable electronic nose system for the detection and classification of fruity odors. Sensors 10: 9179-9193 (2010)
19. Kiani S. Minaei S.Ghasemi-Varnamkhasti M. Application of electronic nose systems for assessing quality of medicinal and aromatic plant products: A review. J. Appl. Res. Medicinal Aromatic Plants 3: 1-9 (2016)
20. Byun H-G. Yu JB. Huh JS. Lim J-O. Exhaled breath analysis system based on electronic nose techniques applicable to lung diseases. Hanyang Med. Rev. 34: 125-129 (2014)
21. Montuschi P. Mores N. TrovéA. Mondino C. Barnes PJ. The Electronic nose in respiratory medicine. Respiration 85: 72-84 (2013)
22. https://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_nose
23. Askim JR. Morteza M. Suslick KS. Optical sensor arrays for chemical sensing: the optoelectronic nose. Chem. Soc. Rev. 42: 8649-8682 (2013)
24. Musto CJ. Lim SH. Suslick KS. Colorimetric detection and identification of natural and artificial sweeteners. Anal. Chem. 81: 6526-6533 (2009)
25. Feng L. Musto CJ. Kemling JW. Lim SH. Suslick KS. : A colorimetric sensor array for identification of toxic gases below permissible exposure limits. Chem. Commun. 46: 2037-2039 (2010)
26. Ahn M-W. Park K-S. Heo J-H. Park J-G. Kim D-W. Choi K. Lee J-H. Hong S-H. Gas sensing properties of defect-controlled ZnO-nanowire gas sensor. Appl. Phys. Lett. 93: 263103-1~263103-3 (2008)
27. Lee JK. Design and implementation of multi-gas recognition algorithm for low power driving with wireless electronic nose. MS thesis, Kyungil University (2016)
28. Hong HK. Kwon CH. Yun DH. Kim S-R. Lee K. Kim IS. Sung YK. Fabrication and characterization of portable electronic nose system for identification of CO/HC gases. J, Sen. Sci. Technol. 6: 47-53 (1997)
29. Choi IH. The study on the fabrication and sensing characteristics of semiconductor gas sensor array for the electronic nose system. MS thesis, Dae Jeon University (2006)
30. Lee KC. A study on SnO2 thin film gas sensor arrays for the electronic nose system. MS thesis, Chonnam National University (2001)
31. Hwang YW. Moon J-Y. Baek S-R. Analysis of the relationship between odor sensor and the air dilution olfactory method in industrial complex odor. J. Korean Soc. Odor Res. Eng. 11: 209-218 (2004)
32. Dong H. Kim KH. Han K-Y. Choi JY. Noh BS. Effect of various light emitting diode irradiation on volatile profiles of perilla oil using mass spectrometry-based electronic nose. Food Sci. Biotechnol. 24: 481-487 (2015)
33. https://www.google.co.kr/search?source=hp&ei=3R5DWuv3IMzz8QX0zauACg&q=%28electronic+nose%29+and+%28review+paper%29+and%28food%29&oq=%28electronic+nose%29+and+%28review+paper%29+and%28food%29&gs_l=psy-ab.3...5571.39497.0.39775.71.54.10.0.0.0.2434.8374.6j35j3j9-1.45.0....0...1c.1.64.psy-ab..17.36.6479.0..0j0i30k1j0i19k1j0i30i19k1j0i13i30k1j0i13i10i30k1j0i10i30k1j0i13i30i19k1j0i8i13i30k1j33i160k1j33i21k1.0.lf4Peh0We_A
34. Noh BS. Quality assessment and flavor analysis of Jeju beer for new product development. Final report of Jeju Industry-leading Broadband Economies Supporters, April, 30th (2012)
35. Kim KH. Park SJ. Kim JE. Dong H. Park IS. Lee JH. Hyun SY, Noh BS. Assessment of physicochemical characteristics among different types of pale ale beer. Korean J. Food Sci. Technol. 45: 142-147 (2013)
36. Mohapatra P. Cox N. Banerjee P. Development of flavor profile of pet food palatants using electronic nose and electronic tongue. 16th International Symposium on Olfaction and Electronic Nose, Abstract #31, June 28th-July 1st, Exhibition and Convention Centre, Dijon, France (2015)
37. Cheli F. Bonetempo V. Dell'Orto V. E-nose and E-tongue: an analytical tool for quality control and management in the pet food industry. Sens. Transducers 213: 24-29 (2017)
38. Shen N. Moizuddin S. Wilson L. Duvick S. White P. Pollak L. Relationship of electronic nose analyses and sensory evaluation of vegetable oils during storage. J. Am. Oil Chem. Soc. 78: 937-940 (2001)
39. Kim KH. Hong EJ. Park SJ. Kang JW. Noh BS. Pattern recognition analysis for volatile compounds of the whole, skim, UHT-, HTST-, and LTLT- milk under LED irradiations. Korean J. Food Sci Ani. Resour. 31: 595-602 (2011)
40. Kim KH. Park SJ. Noh BS. Comparison of volatile compounds from vegetable oils under light emitting diode irradiation using MS-based electronic nose. Food Sci. Biotechnol. 21: 1055-1063 (2012)
41. Park IS. Choi DJ. Youn A-R. Lee Y-J. Kim Y-K. Kim M-H. Kim KH. Dong H. Han HJ. Noh BS. Effect of light emitting diode and fluorescent light on volatile profiles of soybean oil during storage. Korean J. Food Sci. Technol. 45: 763-769 (2013)
42. Choi JY. Han K-Y. Bang K-H. Noh BS. Discrimination analysis of the geographical origin of foods. Korean J. Food Sci. Technol. 44: 503-525 (2012)

43. Kim KH. Dong H. Han HJ. Lee YH. Moon JY. Bang K-H. Noh BS. Analysis of geographical origin of red ginseng extract using mass spectrometer-based electronic nose. Korean J. Food Sci. Technol. 45: 652-656 (2013)
44. Han HJ. Dong H. Noh BS. Discrimination of rice volatile compounds under different milling degrees and storage time using an electronic nose. Korean J. Food Sci. Technol. 48: 187-191 (2016)
45. Olafsdottir G. Nesvadba P. Natale CD. Careche M. Oehlenschläger J. Tryggvadóttir SV. Schubring R. Kroeger M. Heia K. Esaiassen M. Macagnano A. Jørgensen BM. Multisensor for fish quality determination. Trends Food Sci. Technol. 15: 86-93 (2004)
46. Ólafsdóttir G. Kristbergsson K. Electronic-nose technology : Application for quality evaluation in the fish industry. In Odors in the food industry. Nicolay X. (ed), pp.57-74, ISBN-13: 978-0387335100 Springer, Springer International Publishing AG. Dordrecht, Netherland (2006)
47. Olafsdottir G. Martinsdottir E. Jonsson EH. Rapid gas sensor measurements to determine spoilage of capelin (Mallotus villosus). J. Agric. Food Chem. 45: 2654-2659 (1997)
48. Barbri NE. Amari A. Vinaixa M. Bouchikhi B. Correig X. Llobet E. Building of a metal oxide gas sensor-based electronic nose to assess the freshness of sardines under cold storage. Sensor Actuat. B. 128: 235-244 (2007)
49. Barbri NE. Llobet E. Bari NE. Correig X. Bouchikhi B. Application of a portable electronic nose system to assess the freshness of Moroccan sardines. Materi. Sci. Eng. C 28: 666-670(2008)
50. Gibson TD. Prosser O. Hulbert JN. Marshall RW. Corcoran P. Lowery P. Ruck-Keene EA. Heron S. Detection and simultaneous identification of microorganisms from headspace samples using an electronic nose, Sensor Actuat. B 44: 413-422 (1997)
51. Tian X-Y. Cai Q. and Zhang YM. Rapid classification of hairtail fish and pork freshness using an electronic nose based on the PCA method. Sensors 12: 260-277 (2012)
52. Zou Y. Wan H. Zhang X. Ha D. Wang P. Electronic nose and electronic tongue. In Bioinspired Smell and Taste Sensors. Wang P. Liu Q. Wu C. Hsia KJ. (eds), pp 19-44, Springer International Publishing AG. Dordrecht, Netherlands (2015)
53. Wilson AD. Diverse applications of electronic-nose technologies in agriculture and forestry. Sensors 13: 2295-2348 (2013)
54. Vallone S. Lloyd NW. Ebeler SE. Zakharov F. Fruit volatile analysis using an electronic nose. J. Vis. Exp. 61 : e3821, doi:10.3791/3821 (2012)
55. Heinemann CLPH. Irudayaraj J. Detection of apple deterioration using an electronic nose and zNose. Trans. Am. Soc. Agri. Biol. Eng. 50: 1417-1425 (2007)
56. Corrado DN. Manuela Z-S. Antonella M. Roberto P. Bernd H. Arnaldo D'A. Outer product analysis of electronic nose and visible spectra: application to the measurement of peach fruit characteristics. Anal. Chim. Acta 459: 107-117 (2002)
57. Defilippi BG. Juan WS. Valdes H. Moya-Leon MA. Infante R. Campos-Vargas, R. The aroma development during storage of Castlebrite apricots as evaluated by gas chromatography, electronic nose, and sensory analysis. Postharvest Biol Tech. 51: 212-219 (2009)
58. Gu X. Sun Y. Tu K. Dong Q. Pan L. Predicting the growth situation of Pseudomonas aeruginosa on agar plates and meat stuffs using gas sensors. Scientific Reports 6: 38721 (2016)
59. Papadopoulou OS. Panagou EZ. Mohareb FR. Nychas GE. Sensory and microbiological quality assessment of beef fillets using a portable electronic nose in tandem with support vector machine analysis. Food Res. Int. 50: 241-249 (2013)
60. Hong XZ. Wang J. Hai Z. Discrimination and prediction of multiple beef freshness indexes based on electronic nose. Sensor Actuat. B: Chem. 161: 381-389 (2012)
61. Berna A. Metal oxide sensors for electronic noses and their application to food analysis. Sensors 10: 3882-3910 (2010)
62. Vinaixa M. Vergara A. Duran C. Llobet E. Badia C. Fast detection of rancidity in potato crisps using e-noses based on mass spectrometry or gas sensors. Sensor Actuat. B 106: 67-75 (2005)
63. Kaushal A. Gupta P. Electronic nose evolution for food adulteration: A Review. International J. Eng. Develop. Res. 5: 108-112 (2017)
64. Peris M. Escuder-Gilabert L. A 21st century technique for food control: Electronic noses. Anal. Chim. Acta 638: 1-15 (2009)
65. OÄlafsdóttir G. Högnadóttir AÄ. Martinsdóttir E. Jónsdóttir H. Application of an electronic nose to predict total volatile bases in Capelin (Mallotus villosus) for fishmeal production. J. Agric. Food Chem. 48: 2353-2359 (2000)
66. Ramamoorthy HV. Mohamed SN. Devi DS. E-Nose and E-Tongue: Applications and advances in sensor technology. J. NanoSci. NanoTech. 2: 370-376 (2014)
67. Han HJ. Park SW. Jung HY. Kim JS. Dong H. Noh BS. Analysis of off-flavor generated from a polyethylene terephthalate water bottles and caps by using an electronic nose. Korean J. Food Sci. Technol. 47: 425-430 (2015)
68. Noh BS. Oh SY. Kim SJ. Pattern analysis of volatile components for domestic and imported Angelica gigas Nakai using GC based on SAW sensor. Korean J. Food Sci. Technol. 35: 144-148 (2003)
69. Oh SY. Noh BS. Pattern analysis of volatile components for domestic and imported Cnidium officinale using GC based on SAW sensor. Korean J. Food Sci. Technol. 35: 994-997 (2003)
70. Cho YS. Noh BS. Quality evaluation of dried Laver (Porphyra yezoensis Ueda) using electronic nose based on metal oxide sensor or GC with SAW sensor during storage. Korean J. Food Sci. Technol. 34: 947-953 (2002)

71. Gan HL. Man YBC. Tan CP. NorAini I. Nazimah SAH. Characterisation of vegetable oils by surface acoustic wave sensing electronic nose. Food Chem. 89: 507-518 (2005)
72. Marina AM. Man YBC. Amin I. Use of the SAW sensor electronic nose for detecting the adulteration of virgin coconut oil with RBD palm kernel olein. J. Am. Oil Chem. Soc. 87: 263-270 (2010)
73. Suh HS. Kang HJ. Chung EH. Hwang IK. Application of GC-SAW(Surface Acoustic Wave) electronic nose to classification of origins and blended commercial brands in roasted ground coffee beans. Korean J. Food Cookery Sci. 22: 299-306 (2006)
74. https://www.alpha-mos.com/documentation
75. Wiśniewska P. Śliwińska M. Dymerski T. Wardencki W. Namieśnik J. Comparison of an electronic nose based on ultrafast gas chromatography, comprehensive two-dimensional gas chromatography, and sensory evaluation for an analysis of type of whisky. J. Chem. 2017: Article ID 2710104, 13 pages (2017)
76. Youn AR. Noh BS. Prediction of the freshness for soybean curd by the electronic nose in the fluctuating temperature condition. Food Sci. Biotechnol. 14: 437-439 (2005)
77. Park EY. Kim JH. Noh BS. Application of the electronic nose and artificial neural network system to quality of the stored soymilk. Food Sci. Biotechnol. 11: 20-323 (2002a)
78. Park EY. Noh BS. Ko SH. Prediction of shelf life for soybean curd by the electronic nose and artificial neural network system. Food Sci. Biotechnol. 11: 245-251 (2002b)
79. Kim MJ. Park J-H. Electric-nose/tongue and their applications. Food Ind. Nutri. 21: 15-18 (2016)
80. Flambeau KJ. Lee W-J, Yoon J. Discrimination and geographical origin prediction of washed specialty Bourbon coffee from different coffee growing areas in Rwanda by using electronic nose and electronic tongue. Food Sci. Biotech. 26: 1245-1254 (2017)
81. Korel F. Luzuriaga DA. Balaban MÖ. Objective quality assessment of raw tilapia (Oreochromis niloticus) fillets using electronic nose and machine vision. J Food Sci. 66: 1018-1024 (2001)
82. Haddi Z. Alami H. Bari NE. Tounsi M. Barhoumi H. Maaref A. Jaffrezic-Renault N. Bouchikhi B. Electronic nose and tongue combination for improved classification of Moroccan virgin olive oil profiles. Food Res. Int. 54: 1488-1498 (2013)
83. Apetrei C. Apetrei IM. Villanueva S. de Saja J.A. Gutierrez-Rosales Rodriguez-Mendez FML. Combination of an e-nose, an e-tongue and an e-eye for the characterisation of olive oils with different degree of bitterness. Anal. Chim. Acta 663: 91-97 (2010)
84. Longobardi F. Casiello G. Ventrella A. Mazzilli V. Nardelli A. Sacco D. Catucci L. Agostiano A. Electronic nose and isotope ratio mass spectrometry in combination with chemometrics for the characterization of the geographical origin of Italian sweet cherries. Food Chem. 170: 90-96 (2015)
85. Banerjee R. Modak A. Mondal S. Tudu B. Bandyopadhyay R. Bhattacharyya N. Fusion of electronic nose and tongue response using fuzzy based approach for black tea classification. Procedia Technol. 10: 615-622 (2013)
86. Rosa ARD. Leone F. Cheli F. Chiofalo V. Fusion of electronic nose, electronic tongue and computer vision for animal source food authentication and quality assessment : A review. J. Food Eng. 210: 62-75 (2017)
87. Gil-Sánchez L. Sotoa J. Martínez-Mánez R. Garcia-Breijoa E. Ibánez J. Llobet E. A novel humid electronic nose combined with an electronic tongue for assessing deterioration of wine. Sensor Actuat. A 171: 152-158 (2011)