

휴대용 전자코 시스템 개발 (I)

- 시스템 개발 -

이정우 김성민

Development of a Portable Electronic Nose System (I)

- System Development -

J. W. Lee S. M. Kim

Abstract

The purpose of this study was to develop a portable electronic nose system to measure volatile components of agricultural and food products. Also, a graphical operating software to control the electronic nose system and to acquire signals through the Internet was developed. An array of five commercial metal oxide gas sensors was used to detect various volatile gas components of target samples. Transient and steady state signals were analyzed to extract variables related to sample states. To find optimal operating conditions of the system, several experiments were performed with different gas chambers, vacuum pumps, gas sampling temperatures, and sample container sizes. The patterns of gas sensor signals were analysed to find effects of the various conditions.

Keywords : Portable electronic nose system, Metal oxide gas sensors, Internet, Optimal operating condition, Transient and steady state signals

1. 서론

기계후각기관(Machine Olfaction)의 연구는 1950년경부터 냄새(가스)의 확산에 따른 액체의 표면응집력 변화를 측정하는 방법으로 시작되었지만, 1962년 실제적인 가스 감지 소자인 ZnO와 SnO₂를 모체로 하는 산화물 반도체 가스 센서를 제안한 일본 규슈 대학의 Seiyama와 Taguchi를 electronic noses 역사의 시초로 볼 수 있다. 그 후 Moncrieff가 냄새를 분류하고 측정하는 장치에 대해 보고한 바 있으며, 1964년 Wilkens와 Hatman은 후각 과정에 전기적 아날로그 신호에 대한 보고와 1965년 Buck, Dravieks, Trotter등의 금속 및 반도체에서 표면 효과에 의해 화학종을 검출하는 방법에 대한

보고 등이 electronic noses의 초기 역사에 해당된다. 그 이후 1982년 영국의 Warwick대학에서 Persaud와 Dodd에 의해 향의 구별을 위한 지능적이고 화학적인 센서 array 시스템이라는 전자코의 개념이 발표되었다. 이후 Gardner 등에 의해 발전되어 왔는데, Gardner는 현재와 유사한 전자코에 대해 “전자코는 부분적으로 특이성을 갖는 전기·화학적 센서 배열과 적절한 패턴인식 시스템으로 이루어진 기기로서, 단순하거나 복잡한 향을 인식할 수 있도록 마련되어진 장치이다.” (Persaud와 Dodd, 1982).

전자코 시스템은 인간 코의 기능을 디지털화 한 것으로 다중센서배열(multi sensor arrays)을 이용해 특정 냄새 성분과 각각의 센서에서의 반응을 전기화학적 신호로 나타내며 이

신호를 소프트웨어에서 데이터 처리함으로써 각 냄새의 정성, 정량 분석을 빠르게 수행 할 수 있다(Gardner와 Bartlett, 1999).

농산물과 식품의 품질을 결정하는 인자로는 외관, 조직감, 영양가, 안전성 등과 더불어 오감중의 하나인 향기(flavor)가 중요한 품질 평가 척도로 사용된다(Noh, 1996). 농산물과 식품의 품질과 관련하여 향기를 측정하는 방법으로는 주관적인 방법인 인간의 관능 검사법과 객관적인 방법인 기기 분석법이 주로 사용되었다. 관능 검사법은 개인의 식별 능력 및 표현 방법의 차이로 재현성 있는 결과를 도출하기 어렵고 잘 훈련된 검사 패널이 필요하다는 단점을 가지고 있다. 이에 보다 객관적이고 근거가 제시될 수 있는 방안이 바로 기기를 이용하여 향기를 분석하는 방법이다. 기기를 이용하여 휘발성 향기를 감지해 내는 기술로서는 gas chromatography(GC) 또는 GC/Mass spectrometer(MS)가 주로 사용 되었다. GC/MS 등에 의한 분석은 향에 함유되어 있는 혼합기체의 분리 및 정성, 정량 분석에 적합하지만, 식품 내의 복합 성분들로 인한 향의 특성을 표현할 수 없는 제약이 있다. 또한 고가의 기자재를 사용하며, 복잡한 전처리 과정을 거쳐야 하므로 많은 시간과 노동력 그리고 숙련된 작업자가 필요하므로 누구나 손쉽게 사용할 수가 없다(Bartlett 등, 1997). 그래서 이러한 단점을 극복하기 위하여 인간의 후각 인지 시스템을 모방한 전자코 시스템이 개발되었다(Noh와 Ko, 1997; Noh 등, 1998; Yang 등, 1999).

본 연구의 목적은 현장에서 적용이 가능한 휴대용 전자코 시스템을 개발하고 인터넷 제어가 가능하여 원격지에서 휘발성 향을 분석 할 수 있도록 하여 향기가 강하거나 인간에 유해한 향의 발생으로 직접 측정할 수 없는 현장에서도 휘발성 향 성분을 분석할 수 있도록 한다. 세부적인 목적은 다음과 같다.

1. 금속산화물 가스센서(metal oxide gas sensor, MOS)로 구성된 인터넷을 통하여 제어가 가능한 휴대용 전자코 시스템을 개발하고 그래픽 기반의 구동 소프트웨어를 개발한다.
2. 전자코 시스템의 하드웨어 구성에 검출용기(detecting chamber)와 진공펌프의 종류에 따른 가스센서의 신호 특성과 안정화 및 재현성을 조사하고, 펌프 작동 변화에 따른 특성을 조사한다. 또한 향기의 추출온도, 추출유량, 추출용기 등의 추출과정을 최적화하기 위한 특성을 조사한다.

2. 재료 및 방법

가. 전자코 시스템의 설계 및 개발

전자코 시스템은 휴대용 노트북에 장착이 가능하도록 소형으로 설계하였고 현장에서도 실험이 가능하도록 되었으면 인터넷을 이용하여 원격제어도 가능하게 되어 사람이 접근이 어려운 장소의 유독성의 향기 측정 용도로도 활용이 가능하도록 설계되었다.

개발된 전자코 시스템은 하드웨어, 인터페이스, 구동 소프트웨어 등 크게 세부분으로 나누어진다. 그림 1은 개발된 전자코 시스템의 전체 구성도를 보여주고 있다. 하드웨어 부분은 센서 신호를 추출하기 위한 장치로 구성되어 있는데 향기와 공기의 선택적 흐름을 제어 하는 솔레노이드 밸브와 신호를 추출하는 다중 가스센서 배열과 그것들을 외부로부터 차단하는 스테인리스 검출용기, 그리고 향기 또는 공기를 검출용기 내로 유입시키고 외부로 배출시키는 역할을 하는 진공 펌프로 구성된다. 외부에서 유입되는 공기의 이물질과 습기

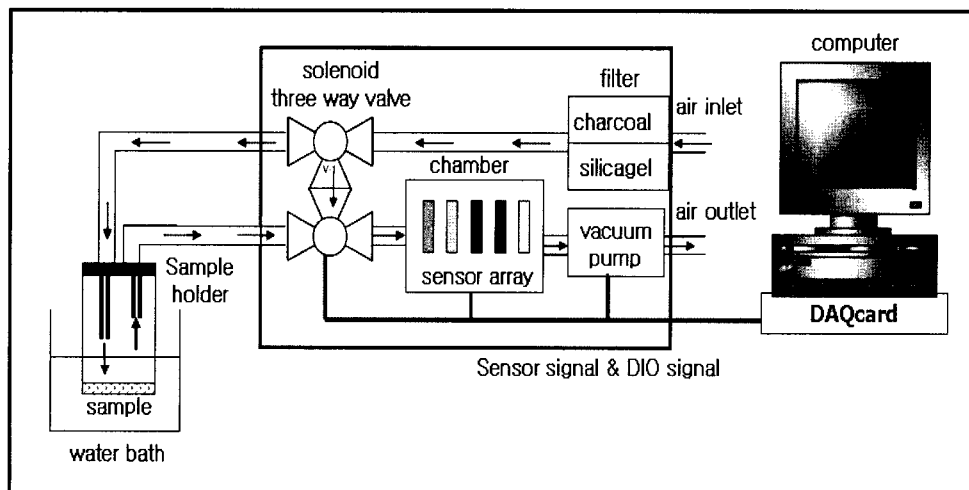


Fig. 1 Schematic diagram of the electronic nose system.

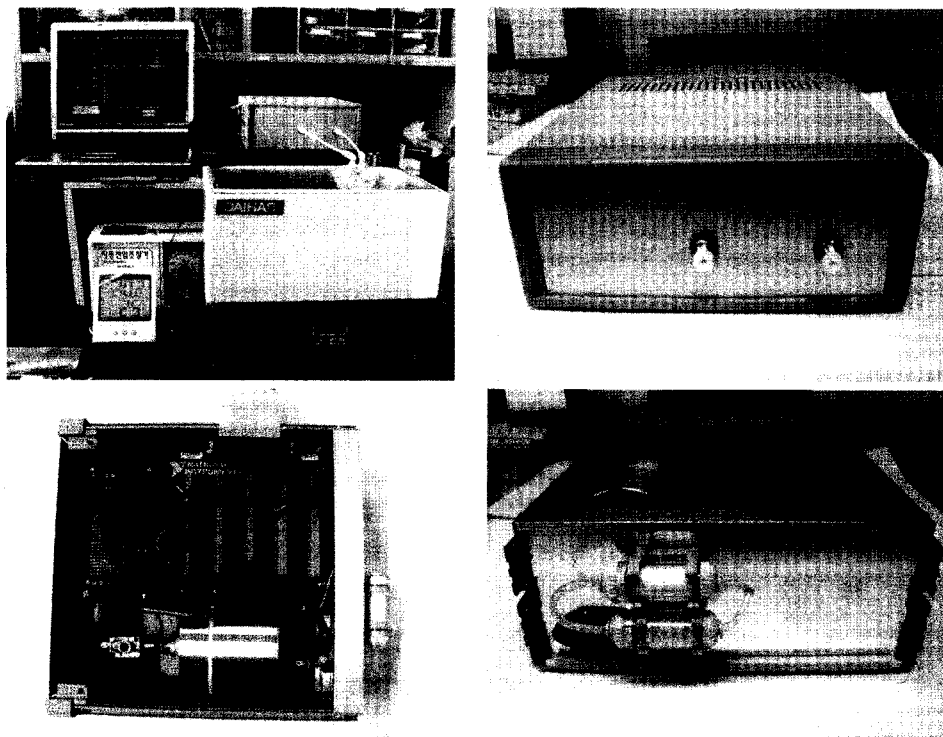


Fig. 2 Photographs of electronic nose system developed in this study. Whole system including water bath and computer (top left), front side of the system (top right), back side of the system showing air filters (bottom right), and inside view of the system showing gas chamber (bottom left).

를 제거하기 위하여 활성탄과 실리카겔이 포함된 필터가 설치되어 있다. 또한, 향기 성분을 효과적으로 추출하기 위해 향온수조(water bath)를 이용하여 향성분을 추출하였다. 인터페이스 부분은 휴대용 노트북에 장착이 가능하도록 PCMCIA 형식의 신호획득장치(data acquisition card, DAQcard)를 장착하였다. 신호획득장치는 솔레노이드밸브, 가스센서의 전원, 진공펌프를 디지털신호를 통하여 작동을 정확하고 빠르게 제어한다. 그리고 가스센서에서 추출한 다채널의 연속적인 아날로그 신호를 추출하여 노트북으로 전송하는 역할을 한다. 마지막으로 소프트웨어 부분은 인터페이스 부분에서 전송된 디지털, 아날로그 신호를 출력, 제어, 분석, 저장하는 역할을 한다.

전자코 시스템의 가스센서 배열은 5개의 상용 후박형 센서(Figaro Co., Japan)로 구성되어 있으며 가스센서는 서로 다른 향기에 반응하고 농산물 및 식품에 적용이 가능하도록 공기 오염 물질(general air contaminants), 휘발성 유기 성분(volatile organic components, VOC), 부탄 LP 가스(butane LP gas), 메탄 가스(methane natural gas), 그리고 알코올 유기 용매(alcohol organic solvents)에 반응하는 센서를 선택하였으며 표 1에 정리하였다. 전자코 시스템의 하드웨어를 구동하는 소프트웨어는 시각화 기능이 뛰어나고 인터넷 접속 기능이 강화된 상용 프로그램(LabVIEW, version 7.0, National

Instruments, USA)을 이용하여 개발하였다.

Table 1 Target chemical component of each metal oxide gas sensor

Sensor no.	Responding chemicals	Model
S1	General air contaminants	TGS2600
S2	VOC	TGS2602
S3	Butane LP gas	TGS2610
S4	Methane natural gas	TGS2620
S5	Alcohol organic solvents	TGS2422

나. 전자코 시스템의 신호획득 과정

그림 3은 전자코 시스템의 가스센서 배열로부터 신호를 획득하는 과정을 보여 주고 있다. 청소 구간(cleaning period)은 검출용기 내로 활성탄과 실리카겔을 통과한 신선한 공기를 유입시키는 과정으로 센서와 챔버 내부의 이물질 제거하는 역할을 하며, 공기에서의 안정화 된 각 센서의 저항값(R_{air})을 측정한다. 샘플링 구간(sampling period)은 검출용기로 시료의 향성분이 유입되는 시간으로 방향성분에 의한 센서의 저항 변화(R_{gas})를 측정한다. 검출용기 내로 향성분을 유입시키고 향성분 유입과 함께 가스센서의 저항 변화에 의한 과도응답 변수인 시상수(time constant, τ)를 측정하고 시료에서의 안정된 가스센서의 저항값을 측정한다. 결과적으로 데이터획

득 구간(data acquisition period)에서만 데이터를 측정하고 저장한다.

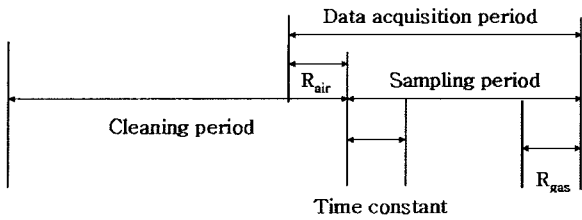


Fig. 3 Cleaning and sampling periods of electronic nose system.

다. 전자코 시스템의 성능평가 실험

1) 펌프 전원 제어에 의한 가스센서의 특성 분석

본 실험은 순창에서 제조된 고추장을 구입하여 향온수조를 이용하여 일정 온도(30°C)에서 저장 용기로부터 향 성분을 추출하며 펌프의 전원 및 작동 시간을 달리하며 실험을 실시하였다. 실험은 각각 3회 실시하였고 그 평균값들을 사용하였다. 펌프는 정격전원에서 2.7 L/min를 빠른 유량을 갖는다. 실험은 펌프의 전원을 6, 8, 12 V로 변화시키며 측정하였으며, 가스에 의한 저항이 최하점에 도달하는 시간을 측정하였고, 빠른 유량의 펌프 작동 시간을 제어하여 R_{gas}의 빠르고 정확한 측정 가능성을 검토하였다. 본 성능 실험에서는 휴대용 전자코 시스템의 설계 및 개발을 목적으로 구성요소를 최적화하고자 하였다.

2) 향성분 추출조건에 대한 가스센서의 특성 분석

본 실험은 오미자 5 g을 향온 수조에서 일정 온도로 10분간 넣어 둔 후 향기를 측정하였다. 기본조건은 35°C 추출온도, 0.85 L/m의 추출 유량과 290 mL의 추출 용기로 사용하였다. 실험은 기본 조건에서 시료 추출온도를 27, 30, 35, 40, 45, 50(°C)로 변화 시키며 측정하였으며, 시료 추출 유량을 0.4, 0.85, 1.4(L/min)로 변화 시키며 측정 하였으며, 시료 추출 용기를 25, 290, 455(mL)로 변화 시키며 측정하였다. 실험은 각각 3회 실시하였고 그 평균값들을 사용하였다. 본 실험에서는 전자코 시스템에서 같은 시료에 대하여 동일한 조건에서 추출 온도, 추출 유량, 추출 용기를 변화시키며 특성을 분석하여 전자코 시스템을 최적화하고자 하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 시스템 구동 소프트웨어의 개발

그림 4는 개발된 전자코 시스템 구동 소프트웨어를 실행한 화면을 보여준다. 그림에서 상단에 위치하는 부분은 하드웨

어 제어와 동작 상태를 볼 수 있도록 디자인 되었으며 하단에 위치한 부분은 센서의 저항 변화, 각 센서의 화학적 반응성분, 측정데이터의 저장 위치, $R = \frac{R_{gas}}{R_{air}}$ 또는 $M = R_{air} - R_{gas}$ 과 같은 분석 결과를 보여주고 있다. 개발된 소프트웨어에 대한 설명은 다음과 같다.

- ① 전자코 시스템의 on/off 표시한다. 초기 시작 시 on에 등이 켜지고 프로그램이 종료되면 off 등이 켜진다.
- ② Measuring interval은 데이터 측정 시간으로 조절이 가능하다.
- ③ Heating time 6 volt를 인가한다. 정상보다 큰 전압을 인가하여 Heating을 가속하고 센서에 붙어 있는 방향성분을 태워 센서의 재현성을 개선한다.
- ④ Cleaning time은 공기를 센서로 유입시키는 시간으로 센서의 불순물을 제거하고 공기의 저항을 안정화를 위한 시간을 의미하는데 방향 성분이 강하면 시간을 길게 설정한다.
- ⑤ Pump operating time으로 시료를 센서로 유입시키는 시간을 의미하는데 R_{gas} 측정을 위한 안정화를 가속시키고 불필요한 시료유입을 방지 할 수 있다.
- ⑥ Sample 측정시간을 조절한다.
- ⑦ 공기와 시료에 의한 방향 성분에 의한 센서의 저항을 그래프로 출력한다.
- ⑧ 측정에 사용된 가스 센서의 종류와 반응 성분을 표시한다.
- ⑨ 센서의 저항 값을 텍스트(*.txt) 파일로 저장하는데 경로를 지정한다.
- ⑩ 센서 값의 비율을 나타내는 $R = R_{gas} / R_{air}$ 또는 센서 값의 변화량을 나타내는 $M = R_{air} - R_{gas}$ 을 출력한다.
- ⑪ 인터넷으로 원격 제어 할 때 서버에 제어를 요구하고 접속 상태를 나타낸다.

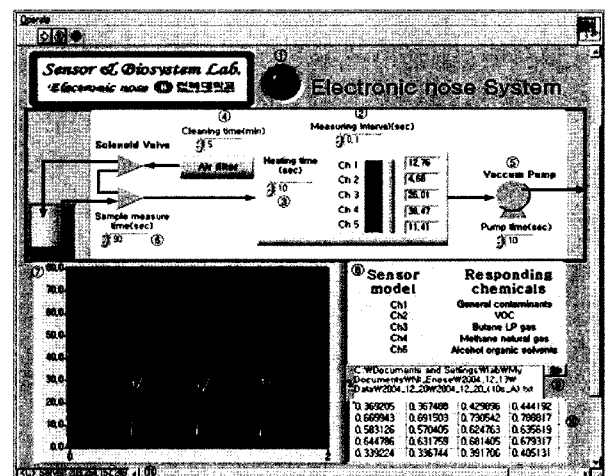


Fig. 4 Electronic nose system control panel.

나. 진공펌프 전원 제어에 의한 가스센서의 특성 분석

그림 5는 펌프의 전원을 달리하면서 펌프를 20초 동안 작동시키고 저항의 변화량(M)과 저항의 비율(R)을 도시한 것이다. 펌프의 전원은 시료의 가스 유입 속도와 관련되는데 가스 유입 속도가 빠를수록 저항의 변화량은 증가하고 저항의 비율은 감소하는 경향을 보인다. 이것은 동일한 조건에서 가스 유입 속도가 빠를수록 휘발성 방향성분의 정보를 많이 획득할 수 있음을 보여주고 있다. 즉 연속적으로 펌프를 작동시키는 것 보다는 시료 용기와 펌프 작동시간을 최적화하여 작동시키는 것이 전자코 시스템의 빠르고 정확한 측정에 활용할 수 있음을 보여 주고 있다. 고추장과 같은 발효식품의 측정을 위하여 펌프작동시간과 전원을 변화하여 측정한 결과 정확하고 빠른 측정을 위해서는 인간의 코에 착안하여 펌프로 하여금 빠르게 가스를 유입시키고 멈추는 방법을 고려하게 되었다. 이것은 시료에 따라 시료의 특성, 시료의 용기, 펌프의 용량을 고려하여 설계하여 정확한 측정을 가능함을 알 수 있다.

다. 시료 추출 조건에 대한 가스센서의 특성 분석

전자코 시스템에서 다양한 시료의 특성과 함께 휘발성 향기 성분의 추출과정에 대한 검토도 시스템의 정확도와 재현성을 높이는 중요한 요소 중에 하나이다. 추출과정에서 시료에 넣는 용기의 종류, 시료의 추출 온도에 따라 휘발성이 다르게 나타나고 휘발성 향기 성분을 펌프에 의하여 가스센서로 유입시키는 유량에 따라라도 센서의 응답이 다르게 나타난다. 시료 추출 온도가 증가하면 휘발성 향성분이 많이 발생하여 센서의 변화도 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 그림 6은 시료 추출 온도 변화에 의한 센서의 전압 변화 비율(R)과 전압 변화량(M)을 도시 한 것으로 추출 온도에 따라 증가함에 따라 전압 변화 비율(R)은 감소하는 경향을 보이고 전압 변화량(M)은 증가하는 경향을 보인다. 결과적으로 향기가 약한 시료에 대해서는 추출 온도를 높게 설정하고 향기가 강한 시료에 대해서는 추출 온도를 낮게 설정해야 한다. 그림 7은 시료 추출 유량에 따른 센서의 신호 패턴(좌측)과 R과 M의 변화(우측)를 도시하고 있다. 시료 추출 유량이 증가 할수록

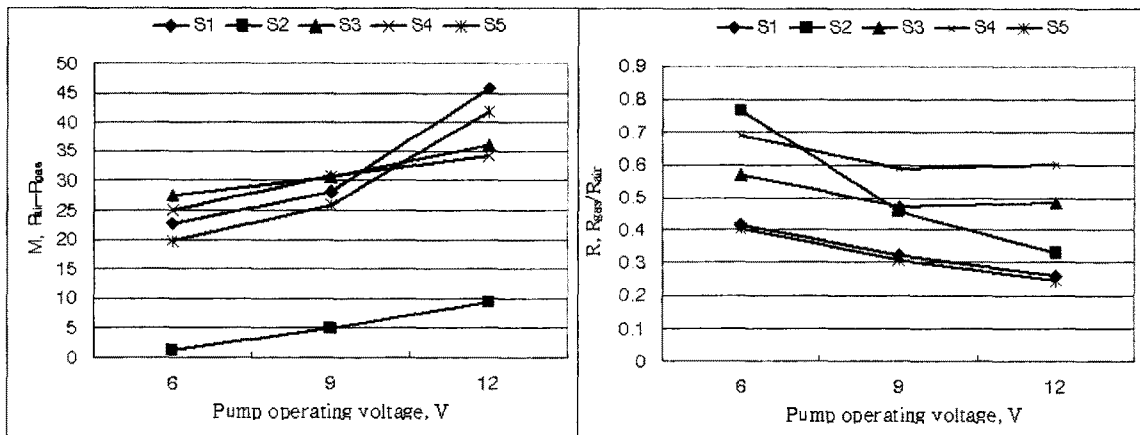


Fig. 5 Variations of M and R according to different pump operating voltages.

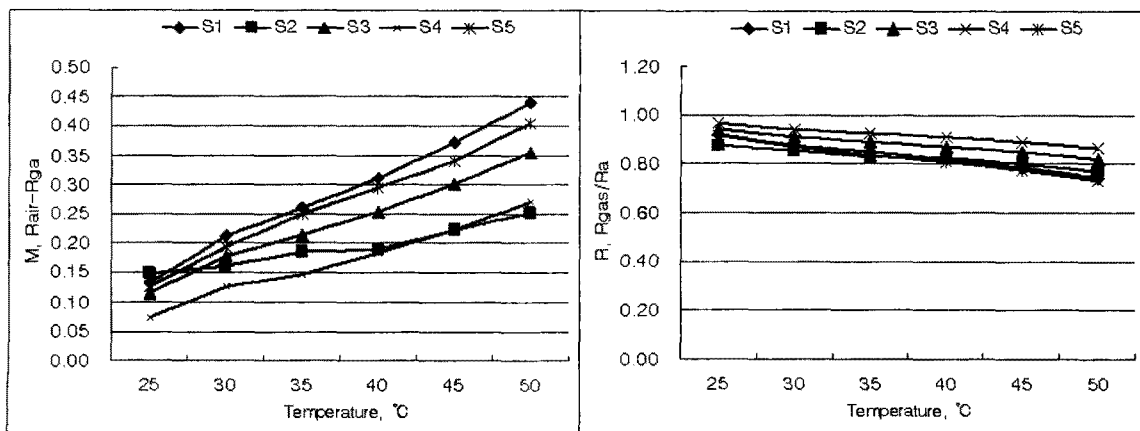


Fig. 6 Variations of R and M of each sensor with different sampling temperatures.

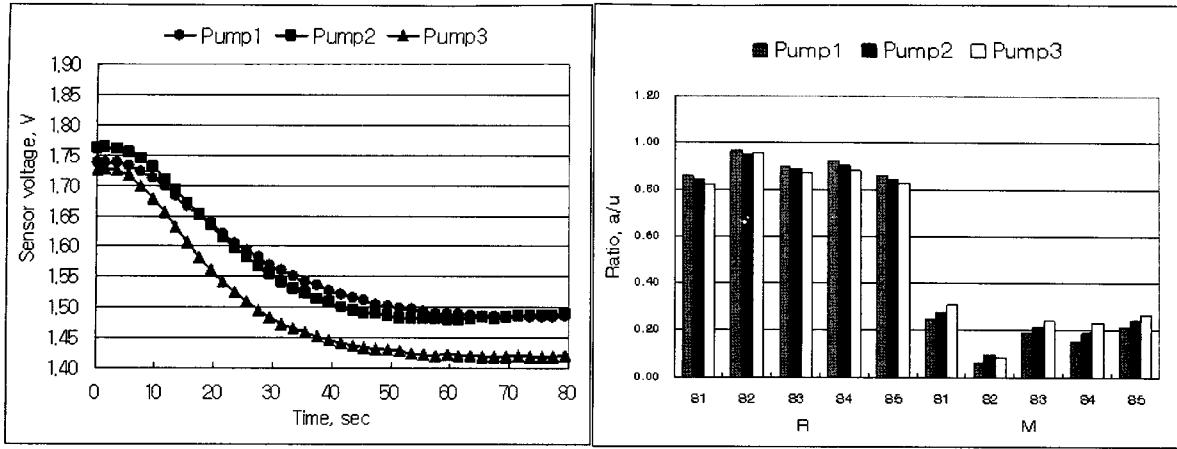


Fig. 7 Change of sensor signal pattern (left) and variations of R and M of each sensor (right) with different detecting delivery flow rate. Flow rate of Pump1 = 0.4 L/min, Pump2 = 0.85 L/min, and Pump3 = 1.4 L/min.

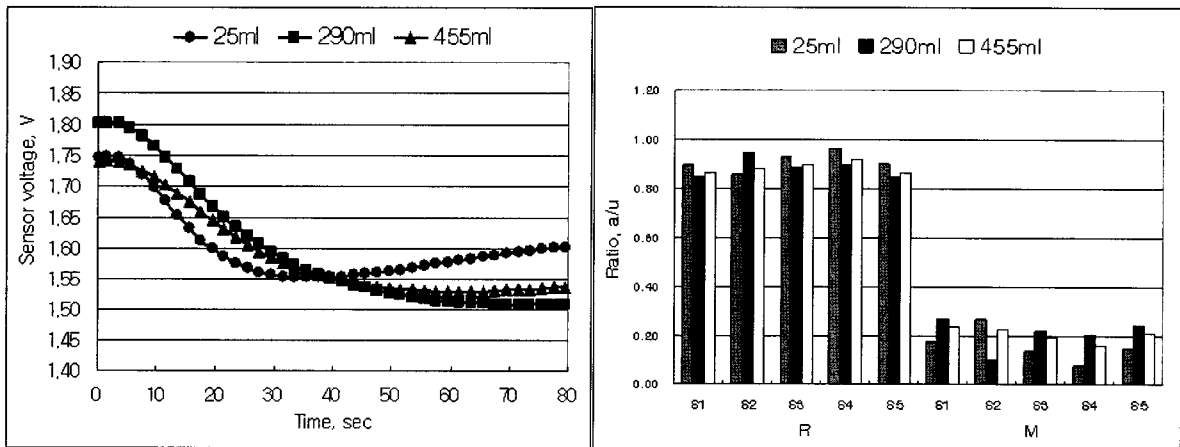


Fig. 8 Change of sensor signal pattern (left) and variations of R and M of each sensor (right) with different detecting sampling bottle sizes of 25 mL, 290 mL, and 455 mL.

센서의 변화가 증가하는 경향을 보이며 0.4 L/min과 0.85 L/min는 유사한 변화를 보이고 유량이 약 2배~3배 차이가 나는 1.4 L/min에서도 유량에 비해 센서 R과 M이 크게 변화하는 형태를 보이지는 않았다. 그림 8의 좌측 그림은 시료 추출 용기를 변화하며 측정된 것으로 작은 시료 용기에서는 정상 응답 변수를 측정하기 위한 안정화에 문제가 있음을 보여주고 있다. 그림 8의 우측 그림은 시료 용기에 의한 R과 M의 변화를 보여 주고 있는데 290 ml 용기에서 25 ml 용기보다 작은 변화를 보이고 있음을 보여주고 있다.

본 실험에서는 추출 온도가 증가 할수록 시료에 의한 공기에 대한 시료의 센서의 전압 비율(R)은 감소하고, 공기에 대한 시료의 센서의 전압 차이(M)는 증가하는 경향을 보인다. 펌프에 의한 추출 유량이 커질수록 시료에 의한 센서의 전압이 크게 변하는 경향을 보이며, 펌프에 의한 추출 유량이 커질수록 같은 시료에 대한 편차가 커지게 되고 재현성에 문제가 발생함을 보여 주고 있다. 시료 용기가 작을 경우 가스 센

서의 안정화되지 않고 계속 변화는 경향을 보인다. 시료 유입 후 향기 추출이 되진 않고 유입된 공기가 바로 가스센서로 유입되는 현상으로 정상응답 변수인 R_{gas} 측정의 정확도 및 재현성에 문제를 발생 시킨다.

결과적으로 전자코 시스템에서는 시료 향기의 농도에 따라 적정의 추출온도를 설정해야 하는데, 향기가 강한 시료의 경우 낮은 온도를 설정하고 향기가 약한 시료에 대해서는 높은 온도를 설정하여 시료의 향기가 추출을 원활히 해야 한다. 추출유량은 재현성을 위하여 빠른 유량보다는 시료에 맞는 적정 유량을 추출해야 하는데 향기가 강한 시료에 대해서는 빠른 추출유량으로 설정하여 가스센서, 챔버, 유입 관에 향기가 오랜 시간 노출되지 않도록 하며 빠르게 신선한 공기를 유입하여 세척하여 재현성을 높여야 한다. 추출 용기도 너무 작을 경우 적은 향기에 의해서도 센서의 변화가 크게 나타나므로 재현성 및 안정성에 문제가 발생하게 되는데 향기가 약하고 작은 시료에 대해서는 작은 시료용기를 사용할 경우 추출유

량을 느리게 설정하고 추출온도를 설정하여 향기 추출 과정을 원활히 하여야 한다. 이러한 추출 과정에 대한 특성을 분석하여 추출과정을 최적화 할 경우 가스센서의 정확도와 재현성을 높이는 결과를 얻을 것으로 사료된다.

4. 요약 및 결론

본 논문에서는 농산물 및 식품의 휘발성 향기 성분을 측정하기 위하여 휴대용 전자코 시스템을 개발하였다. 또한 전자코 시스템에서 인터넷 제어가 가능한 그래픽 운영 소프트웨어를 개발하였다. 전자코 시스템의 최적의 운영 조건의 발견을 위하여 여러 가지 특성 실험을 실시하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 금속산화물 가스센서(MOS)를 사용한 휴대용 전자코 시스템을 개발하였다. 그래픽 기반의 시스템 구동 소프트웨어를 개발하여 사용자가 시스템의 작동상태와 얻어진 데이터의 동시에 볼 수 있도록 하였다. 휴대용 노트북을 이용하여 휴대성이 강조되어 야외현장에서도 사용이 가능하도록 되었으며 인터넷을 이용하여 원격 제어도 가능하게 되어 사람의 접근이 어려운 장소의 유독성의 향기 측정 용도로도 활용이 가능하다.
- (2) 전자코 시스템에서는 시료 향기의 농도에 따라 적정의 추출온도를 설정해야 하는데, 향기가 강한 시료의 경우 낮은 온도를 설정하고 향기가 약한 시료에 대해서는 높은 온도를 설정하여 시료의 향기가 추출을 원활히 해야 한다. 추출유량은 재현성을 위하여 빠른 유량보다는 시료에 맞는 적정 유량을 추출해야 하는데 향기가 강한 시료에 대해서는 빠른 추출유량으로 설정하여 가스센서, 챔버, 유입 관 등에 향기가 오랜 시간 노출되지 않도록 하며 빠르게 신선한 공기를 유입하여 세척하여 새

현성을 높여야 한다. 추출 용기도 너무 작을 경우 적은 향기에 의해서도 센서의 변화가 크게 나타나므로 재현성 및 안정성에 문제가 발생하게 되는데 향기가 약하고 작은 시료에 대해서는 작은 시료용기를 사용할 경우 추출유량을 느리게 설정하고 추출온도를 설정하여 향기 추출 과정을 원활히 하여야 한다. 이러한 추출 과정에 대한 특성을 분석하여 추출과정을 최적화 할 경우 가스센서의 정확도와 재현성을 높이는 결과를 얻을 것으로 사료된다.

참고 문헌

1. Bartlett, P. N., J. M. Elliott and J. W. Gardner. 1997. Electronic nose and their application in the food industry. *Food Technol.* 51:44-48.
2. Gardner, J. W. and P. N. Bartlett. 1999. *Electronic Noses, Principles and Applications.* Oxford University Press, Inc., NY, USA.
3. Noh, B. S. and J. W. Ko. 1997. Discrimination of the habitat for agricultural products by using electronic nose. *Journal of Korean Society for Food Engineering* 1(2):103-106. (In Korean)
4. Noh, B. S., J. W. Ko, S. Y. Kim and S. J. Kim. 1998. Application of electronic nose in discrimination of the habitat for special agricultural products. *Journal of Korean Society for Food Engineering* 30(5):1051-1057. (In Korean)
5. Noh, S. H. 1996. Non-destructive technology for quality evaluation of agricultural products. *Symposium on Current Status and Perspectives of Industrial Food Engineering.* Korean Society for Food Engineering 63-90. (In Korean)
6. Persaud, K. and G. H. Dodd. 1982. Analysis of discrimination mechanisms of the mammalian olfactory system using a model nose. *Nature* 299:352-355.
7. Yang, Y. M., B. S. Noh and H. K. Hong. 1999. Prediction of freshness for milk by the portable electronic nose. *Journal of Korean Society for Food Engineering* 3(1):45-50. (In Korean)