

개인 휴대 단말기 (PDA)를 기반으로 한 휴대용 E-Nose의 개발

양윤석* · 김용신[†] · 하승철 · 김용준 · 조성목 · 표현봉 · 최창익

A portable electronic nose (E-Nose) system using PDA device

Yoon Seok Yang*, Yong Shin Kim[†], Seung-chul Ha, Yong Jun Kim,
Seong Mok Cho, Hyeon Bong Pyo, and Chang Auck Choi

Abstract

The electronic nose (e-nose) has been used in food industry and quality controls in plastic packaging. Recently it finds its applications in medical diagnosis, specifically on detection of diabetes, pulmonary or gastrointestinal problem, or infections by examining odors in the breath or tissues with its odor characterizing ability. Moreover, the use of portable e-nose enables the on-site measurements and analysis of vapors without extra gas-sampling units. This is expected to widen the application of the e-nose in various fields including point-of-care-test or e-health. In this study, a PDA-based portable e-nose was developed using micro-machined gas sensor array and miniaturized electronic interfaces. The rich capacities of the PDA in its computing power and various interfaces are expected to provide the rapid and application specific development of the diagnostic devices, and easy connection to other facilities through information technology (IT) infra. For performance verification of the developed portable e-nose system, Six different vapors were measured using the system. Seven different carbon-black polymer composites were used for the sensor array. The results showed the reproducibility of the measured data and the distinguishable patterns between the vapor species. Additionally, the application of two typical pattern recognition algorithms verified the possibility of the automatic vapor recognition from the portable measurements. These validated the portable e-nose based on PDA developed in this study.

Key Words : portable electronic nose (e-nose), medical diagnosis, volatile organic compound (VOC), vapor recognition, personal digital assistance (PDA), micro-machined gas sensor array, pattern recognition

1. 서 론

전자코 시스템은 휘발성 유기화합물이나 기체시료에 대한 간단한 odor characterizing 만으로 품질을 검사할 수 있기 때문에 식품이나 포장 (packaging) 산업 등에서 복잡한 화학분석을 대신하여 많이 사용되어 왔다. 최근에는 반도체 센서, portable electronics 및 정보통신 기술의 발달과 더불어, 산업생산 현장을 벗어나, 유해가스나 수질, 폐기물 검사 등 환경 모니터링 분야나 의료 분야로도 그 응용이 확대되고 있다^[1,2].

호흡가스에 포함된 volatile organic compound (VOC) 가 당뇨나 폐질환과 연관이 있다는 것은 이미 알려진 바 있으며, 몇몇 VOC 와 병변간의 상호관계도 밝혀져 있다^[3]. 그러나 가스 분석에 주로 사용되는 GC/MS (Gas Chromatography/Mass Spectrometer) 등을 통한 호흡가스 분석의 복잡성 때문에 이러한 연구결과가 실제 진단에 활용되는 데에는 어려움이 있었다. 최근에는 전자 후각 시스템을 사용하여, 대형의 장비나 복잡한 분석과정 없이 VOC 의 패턴만을 가려냄으로써 병변을 진단하려는 노력들이 시도되고 있으며^[4], 로마대학 등에서는 폐암의 진단과 관련하여 일부 성공적인 결과를 얻기도 하였다. 다른 진단 방법에 비해 비교적 간단한 호흡가스를 통한 검사는 병원이나 일반 가정에서 point-of-care test (POCT) 혹은 telemedicine 기기로서 e-nose 의 사용 전망을 보여주고 있으며^[5] 소형화된 형태의 개발은 이러한 응용분야의 확장에 한 몫을 하고 있다.

한국 전자 통신 연구원 기반기술연구소 바이오소자팀 (Bio-MEMS Team, Basic Research Laboratory, Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI))

*전북대학교 생체정보공학부 (Division of Bionics and Bioinformatics Engineering)

[†]Corresponding author: ysyang@chonbuk.ac.kr

(Received : January 10, 2005, Accepted : January 20, 2005)

본 연구에서는 개인 정보 단말기 (personal digital assistance, PDA) 를 기반으로 하는 휴대용 전자코 시스템을 개발하였다. 반도체 공정으로 개발된 초소형 가스 센서 어레이^[5], 센서 인터페이스 회로, 가스 flow 제어를 위한 모듈 등을 소형화하여 PDA 의 주변기기로 활용할 수 있도록 하였다. 독립기기 (stand-alone device) 형태의 상용화된 휴대용 e-nose 장비도 있으나 (CyranoSe 320, Cyrano Sciences) 휴대하기에는 상당히 큰 크기를 갖고 있을 뿐 아니라, e-nose 의 다양한 사용 목적에 맞도록 특화된 기능이나 인터페이스 및 서비스를 제공하지 못한다는 단점이 있다. 본 연구에서는 PDA의 풍부한 계산능력과 사용자 인터페이스를 바탕으로 가스 측정 하드웨어 및 소프트웨어를 구성함으로써, 휴대성을 높일 뿐 아니라 개발을 용이하게 하고, 용도에 맞는 e-nose 시스템의 기능 다양화 및 향후 주변기기와의 접속이나 통신을 통한 응용분야의 확대를 꾀하였다. 특히 medical application 에서 새로운 진단 방법이 개발되기 위해서는 반복적인 임상 적용을 통해 일관성 있고 의미 있는 결과를 얻는 것이 중요한데, 일반화된 휴대기기를 기반으로 하여 휴대성과 사용성을 높일 수 있다는 점은 새로운 기기와 이를 사용한 진단방법의 검증에 필요한 시간과 노력을 절감시킬 수 있으므로 매우 유리하다고 생각된다.

개발된 휴대용 e-nose 시스템의 성능과 데이터의 신뢰성을 검증하기 위해 총 6종류의 기본 vapor시료를 상온(20°C)에서 별도의 농도 및 유체 제어 없이 측정하고, 얻어진 데이터로부터 vapor feature^[7]로서 가장 일반적으로 사용되는 maximum sensitivity를 추출한 후, 방사형 그래프와 principal component analysis (PCA) 를 통해 그 패턴의 양상을 관찰하였다^[7]. 또한, 향후 PDA 상에 구현될 자동 vapor 인식의 성능확인을 위해 대표적인 인공신경망 알고리즘인 backpropagation neural network (BPNN)과 support vector machine (SVM) 을 적용하여 그 결과를 정리하였다.

2. 재료 및 방법

A. 센서 인터페이스 회로의 소형화

반도체 공정으로 제작된 초소형 가스센서 어레이를 그림 1에 나타내었다^[5]. MEMS 공정으로 제작된 구조물 내에 표 1에 나타낸 8종류의 carbon-black (CB) polymer 화합물을 장착하여 가스 센서 어레이를 제작하였다. 센서 어레이를 구동하여 가스 감지 신호를 얻기 위해, 본 연구에서 제작하여 가스시료를 측정하는데 사용되던 그림 2-(a)의 기존의 인터페이스용 회로의 크

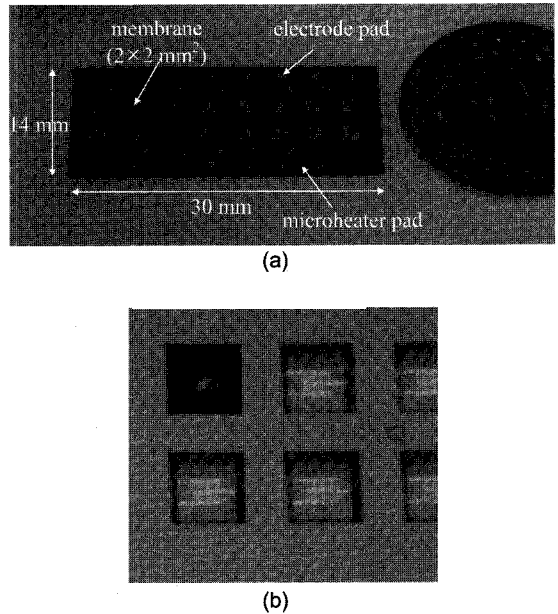


그림 1. 반도체 공정으로 제작된 가스센서 어레이의 모습. a) Micromachining 에 의해 제작된 16 개의 well 과 실제 크기 b) sensing electrode 및 가열용 히터로 구성된 각 채널과 여기에 가스 감지용 CB polymer composites 를 dispensing 하여 만든 센서

Fig. 1. Si-based gas sensor array. a) each of 16 micro-machined well has sensing electrode and heater within the substrate. Actual dimensions are shown. b) only 8 of 16 sensing channels are installed with the CB polymer composites through dispensing.

표 1. 가스 센서 어레이의 구성에 사용된 가스 감지 물질 (CB polymer composites)

Table 1. CB polymer composites used for gas sensor array

Ch.	Polymer I.D.
1	poly(4-vinyl pyridine)
2	poly(vinyl butyral)-co-vinyl alcohol-co-vinyl acetate
3	poly(vinyl stearate)
4	Ethyl cellulose
5	polystyrene-b-polyisoprene-b-polystyrene
6	hydroxypropyl cellulose
7	cellulose acetate

기를 대폭 축소하여 그림 2-(b)와 같이 소형화하였다. 반도체 가스 센서 어레이를 장착하고 가스 감지 반응을 측정하는 sensing chamber와 gas inflow를 유도하기

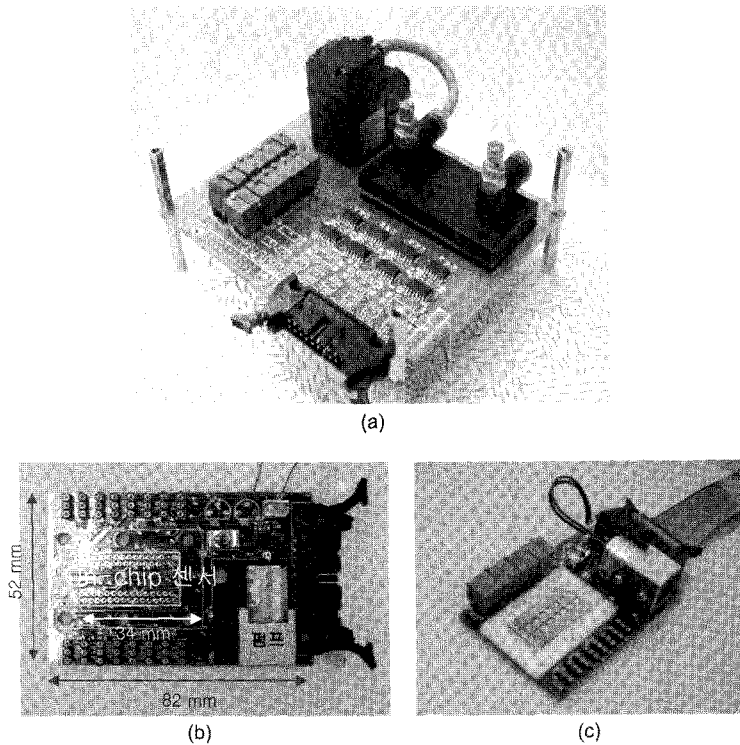


그림 2. 가스 센서 구동을 위한 회로 a) 이전의 가스 측정에 사용하던 기본 회로, b) (a) 를 소형화한 휴대용 회로, c) 반도체 센서 어레이 칩 및 펌프 모듈을 장착한 모습
 Fig. 2. Gas sensor interface circuitry. a) laboratory size circuit board, b) portable circuit modified from the previous one in (a), c) sensor array chip and miniaturized pump are integrated on portable circuit board.

위한 dc 모터 펌프, 가스 감지신호를 증폭하기 위한 증폭부 및 전원 공급 회로등이 내장되어 있다. 실리콘 기판으로 제작된 센서 어레이칩과 PCB 회로의 연결을 위한 방법으로, 스프링이 내장된 probe pin과 chamber 구조물을 사용하였다. 센서물질의 저항 변화가 감지신호의 역할을 하므로, 흔히 사용되는 zebra connector는 접촉 저항의 큰 변화가 문제가 되어 적당하지 않았다. 그림 2-(c)는 개발된 회로의 사진을 보여주고 있다. 휴대시의 편의를 위해 작동에 필요한 전원은 별도로 공급 받지 않고, PDA로부터 직접 공급 받도록 하였다. 전력 소모는 증폭회로에서 대부분 이루어지며, 현재는 사용하지 않는 채널을 포함하여 총 16개의 센서응답채널을 갖고 있어 측정 결과 100 mA 내외로 나타났다. PDA 에 연결하여 e-nose 를 작동시키는 경우, 약 25~30분간 연속으로 측정이 가능하였다. 7 채널로만 구성하면 전력소모는 약 60 mA, 연속측정 시간은 40분 정도 가능할 것으로 추정된다. 그림 3에 증폭 및 전원 공급 회로의 대략을 나타내었다. ADM660 (Analog devices) 과 MAX603 (Maxim)을 사용하여 증폭부를 위한 양방

향 전압과 dc 모터구동을 위한 3 V 전압 안정회로를 구성하였다.

B. 개인 휴대단말기에서 구동되는 e-nose 모듈의 제작

센서 인터페이스에서 출력되는 신호를 PDA로 입력하기 위해 PCMCIA 타입의 data acquisition board (DAQ6062E, National Instrument)를 사용하였다. 제작된 가스 측정 장치를 PDA (iPAQ5550, COMPAQ)의 PCMCIA 슬롯에 장착한 data acquisition board에 연결하고, PDA에서의 신호의 저장과 그래프 출력 등 가스 측정에 필요한 소프트웨어를 Labview 7.0과 Labview PDA module (National Instrument) 및 이에 내장된 Microsoft Embedded Visual tools를 사용하여 작성하였다. 그림 4-(a)에 PDA와 여기에 연결된 가스 측정 모듈을 함께 나타내었다. 그림 4-(b)는 작성된 e-nose 모듈의 작동 및 인터페이스 화면을 나타낸다. 이전 vapor 측정에서 사용된 노트북 기반의 e-nose 시스템^[5]의 기능들을 최대한 PDA 상에 구현하되, 이전 시스템을 사용하면서 bench-marking 되었던 사항들과 휴대용 장치

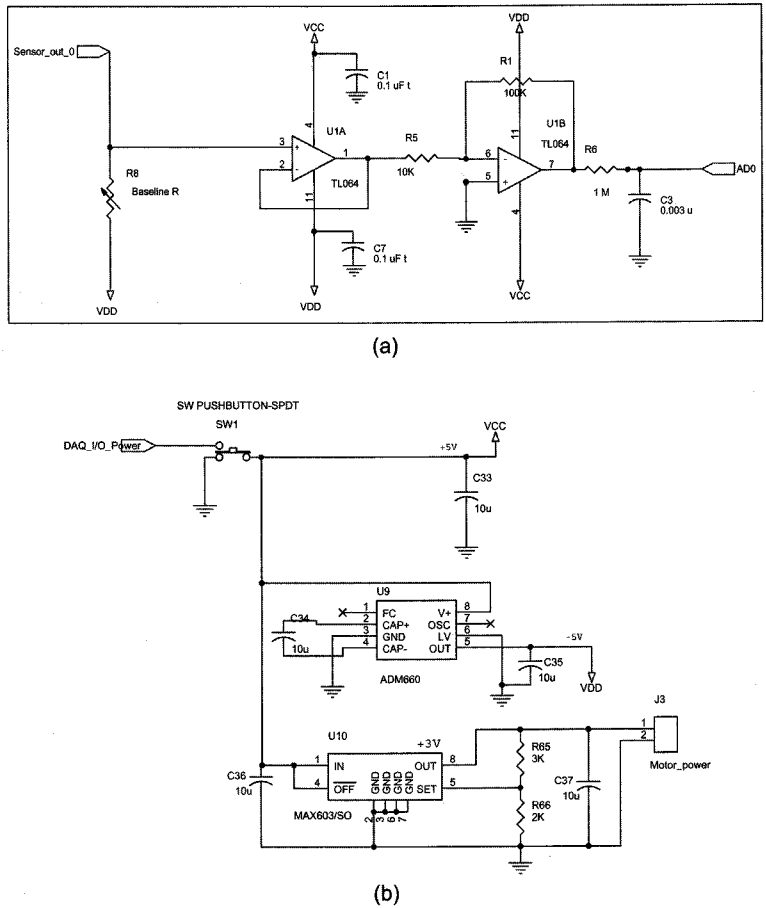


그림 3. 가스 센서 인터페이스 회로. a) 가스 감지 신호 증폭회로, b) 증폭부를 위한 양방향 전압과 dc 모터구동을 위한 전압 안정회로
 Fig. 3. Schematic diagram of gas sensor interface circuit. a) amplifier for sensor response signal, b) unipolar to bipolar converter for amplifier power supply using ADM660 and 3 V regulator for dc motor pump using MAX603.

의 특성을 감안하여 보완하였다. 예를 들면, PC에 비해 입력장치의 사용이 번거로운 휴대 단말기의 특성상, 사용자의 입력을 최소화하기 위해 파일 이름은 매 측정 시에 자동으로 순차적으로 지정되도록 하고, 샘플링 속도 설정이나 채널의 가변 선택 기능은 자주 필요치 않으므로 생략 하였다. 개발을 위해 사용된 하드웨어

및 소프트웨어의 종류와 자세한 사양을 표 2에 정리하였다.

C. 기체 시료 측정을 통한 검증

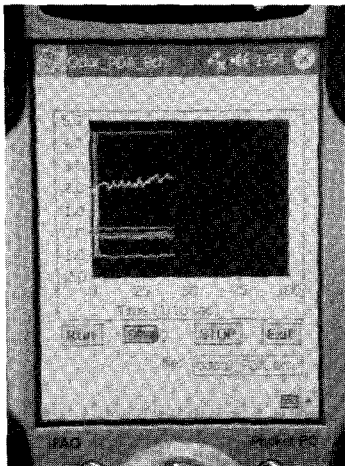
개발된 PDA 기반 e-nose 시스템의 성능을 검증하기 위해, acetone, benzene, chloroform, cyclohexane, etha-

표 2. 개발에 사용된 장비의 hardware 및 software
 Table 2. Specification of hardware and software equipments

	Hardware	Software
PDA	IPAQ5550 (Compaq) PCMCIA expansion pack	Pocket PC 2003 (Microsoft) Labview PDA module (National Instrument)
Data acquisition	DAQ6062E (National Instrument)	DAQ for Pocket PC (Microsoft)
PC	Pentium IV	Labview for Windows (National Instrument)



(a)

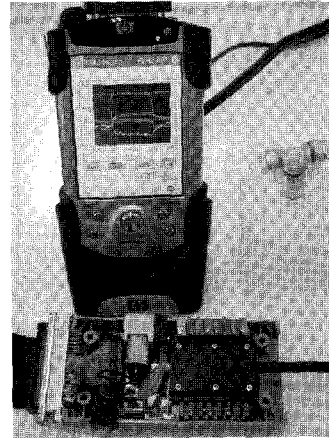


(b)

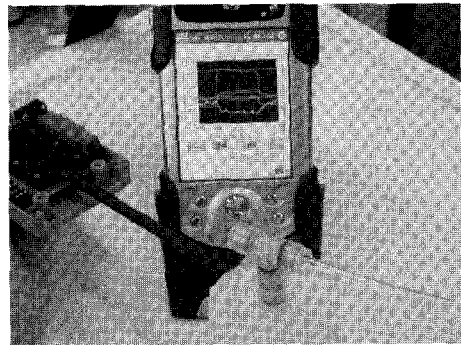
그림 4. 개발된 PDA 기반의 휴대용 e-nose. a) 소형화된 가스 측정 모듈과 PDA 가 연결된 모습, b) PDA 에 구현된 e-nose 용 소프트웨어 모듈에서 신호 측정 및 저장시의 화면

Fig. 4. The PDA-based portable e-nose developed in this study. a) miniaturized gas sensing module and PDA are combined, b) the operation of PDA application software dedicated for e-nose system.

nol 및 methanol 6종류의 기본 vapor를 측정하였다. 센서의 특성평거나 vapor 응답의 기본 특성을 파악하기 위한 실험 환경에서는 수백 ppm ~ 수천 ppm의 농도와 약 18~50°C의 온도 제어하에 측정하는 것이 보통이나, 본 연구에서는 개발목표인 휴대용의 가스 측정 상황을 염두에 두고 이를 모방하기 위해 vapor의 농도를 제어하기 위한 mass flow control (MFC) 등 별도의 메커니즘 없이, 공기 입,출구가 달린 일반 용기에 담아 그림 5와 같이 측정하였다. 그림 5-(a)에서, 측정을 위한 준비단계로 센서 구동회로에 내장된 가변저항을 센서의 초기값에 맞추어 조정 한 후, vapor 시료들은 용



(a)



(b)

그림 5. 개발된 e-nose 를 사용한 vapor 측정. a) 용매 상태로 용기에 담긴 vapor 시료, b) 가스 측정 모듈을 구동하여 vapor 시료를 채취하는 과정 및 PDA 의 화면에 나타난 센서 어레이의 감지신호

Fig. 5. Vapor measurement using the developed e-nose. a) variable resistors are used for initial balancing of sensor response signal. Vapor samples are measured using usual vessel without any control of temperatures and concentration, b) vapor signals are displayed on the PDA screen.

매 상태로 용기에 담아두었다. 가스 측정 모듈을 구동하여 vapor 시료를 그림 5-(b)와 같은 방법으로 채취하면 PDA의 화면에 보이는 센서 어레이의 감지신호를 얻을 수 있다. 같은 이유로 온도 역시 별도의 제어 장치 없이 실온(약 20°C)에서 각 vapor에 대하여 약 20회의 측정을 반복하였다. 그림 6에 대표적인 감지신호의 그래프를 나타내었다. 센서와 기체시료의 종류에 따라 반응속도가 달라 감지신호의 증가양상에도 차이가 생긴다. 센서어레이 기반의 패턴인식을 위한 최대 응답률 (Maximum sensitivity)를 얻기 위해 모든 센서의 감지신호가 최고치에 이르는, 가스 유입 후 약 1분 경과

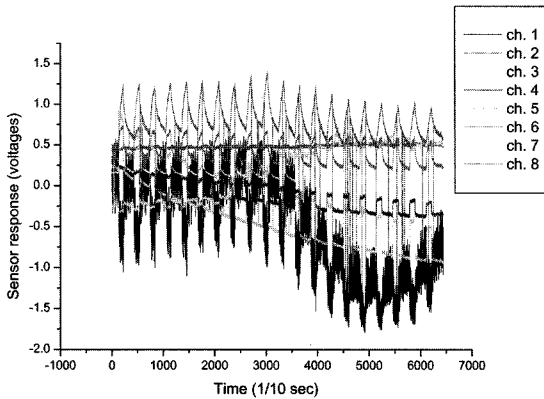


그림 6. PDA e-nose 로 acetone에 대하여 측정된 8 채널 센서 어레이의 가스 감지 신호

Fig. 6. A sampled result of acetone measurement. The effects of baseline wandering and channel offsets are eliminated during conversion to sensitivity.

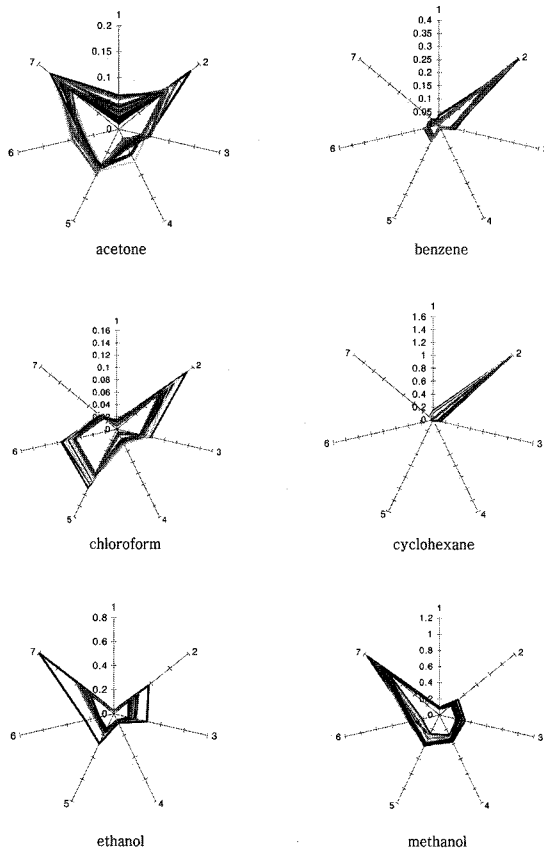


그림 7. 센서 어레이에서 측정된 감지신호로부터 추출한 6 종류의 vapor 패턴을 방사형 그래프로 가시화한 모습
Fig. 7. Radial plots of maximum sensitivities extracted from measurement results of 6 vapor samples.

후에 측정값을 읽었으며, 매 측정 후에는 센서가 초기 상태로 되돌아갈 수 있도록 시료가 담긴 용기로부터 떼어 공기 (air) 중에 약 2분간 노출시킨 후 측정을 반복하였다. 시료 및 공기는 기기에 내장된 펌프를 사용하여 흡입하게 된다.

D. 시료 측정 데이터 패턴 및 PCA에 의한 군집 양상 확인

C에서 얻은 측정결과를 PC에 전송하고, maximum sensitivity^[7]를 추출하여 그림 7에 방사형 그래프로 나타내었다. 그림은 각 vapor마다 반복된 측정결과를 모두 나타내고 있다. 한편 이러한 pattern을 기반으로 PCA^[7]를 통해 얻은 vapor들의 군집 (grouping or clustering) 양상을 그림 8에 나타내었다. 휴대형 e-nose에서 최종 목표로 하고 있는 자동 vapor 인식이 가능한지를 확인하기 위해 대표적인 패턴인식 알고리즘인 BPNN과 최근 각광을 받고 있는 SVM을 적용하였다. 사용된 BPNN은 1개의 hidden layer와 7개의 hidden node를 갖는 구조이며, 입출력 노드의 개수는 각각 7, 6개이다. BPNN의 구조에 따른 패턴인식 성능 평가보다는 PDA e-nose가 측정된 데이터 패턴의 대략적인 구분 가능성을 평가하는 것이 목적이므로, hidden layer 및 hidden node의 개수는 일반적으로 타당하다고 알려진 바에 따라 정하였다. SVM은 internet public domain에 공개된 Vapnik의 SVM routine을 사용하였다. 두 패턴인식 알고리즘 모두 PC에서 Matlab (Mathworks,

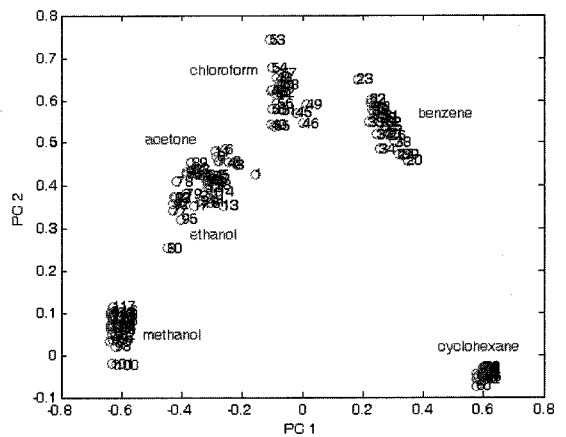


그림 8. 서로 다른 vapors 들의 패턴양상을 PCA 를 통해 확인하였다. 분석의 편의를 위해 각 점에 측정된 순서를 표시하는 번호를 붙였음
Fig. 8. Different patterns from different vapors are verified by PCA. Every measurements are numbered for convenience.

표 3. BPNN 과 SVM(칼호안)을 적용한 vapor 패턴 인식 결과. confusion matrix의 각 행은 실제 vapor의 종류를, 각 열은 알고리즘에 의해 판별된 vapor의 종류를 나타낸다.

Table 3. Vapor recognition results by BPNN and (SVM). Each row implies the measured vapor species, and each column implies the recognized species

Recognized Inhaled	acetone	benzene	chloroform	cyclohexane	ethanol	methanol
acetone	8 (9)	0	0	0	1	0
benzene	0	10 (10)	0	0	0	0
chloroform	0	0	10 (10)	0	0	0
cyclohexane	0	0	0	9 (9)	0	0
ethanol	0	0	0	0	9 (9)	0
methanol	0	0	0	0	0	13 (13)

USA)을 이용해 수행하였다. 측정된 데이터를 각 vapor에 대하여 임의로 학습데이터와 테스트 데이터로 나누어 알고리즘을 적용하고, 결과를 표 3에 confusion matrix의 형태로 정리하였다.

3. 결과 및 토의

제작된 센서어레이는 총 16개의 채널이 사용가능하나, 본 연구에서는 7개의 well만을 사용하였다. 그림 6의 측정신호를 보면 채널마다 약간의 offset과 시간이

지남에 따른 baseline의 변동이 있으나, 이는 감지신호를 센서저항의 변화율인 sensitivity로 환산하는 과정과 각 측정시의 변화폭만을 추출하는 과정에서 최소화 된다.

그림 7의 방사형 그래프를 보면 반복된 측정 결과에서 일정한 패턴이 재현되는 것을 볼 수 있다. Ethanol의 결과에서 일부 보이는 큰 값의 패턴은 별도의 농도 제어를 하지 않은 상태에서 일시적으로 높은 농도의 측정치에 해당되는 것으로, scale의 차이만 있으므로 normalization 등을 거치면 일관성 있는 패턴을 얻을 수 있다. 그림 7에서는 vapor의 종류에 따라 서로 구분

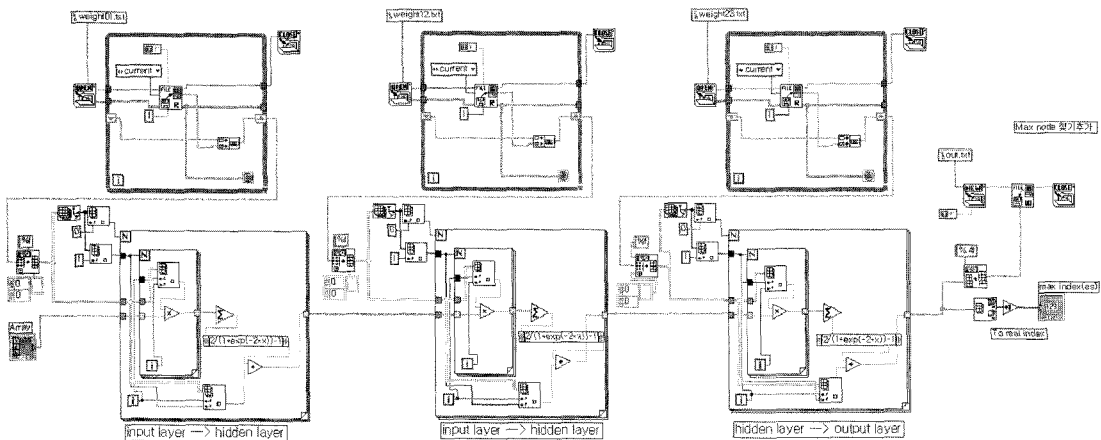


그림 9. Labview 로 작성된 PDA 용의 BPNN. 총 3개의 layer를 갖는다

Fig. 9. BPNN using Labview runs on PDA. The BPNN has 3 layers and can distinguish 6 vapor species.

되는 일정한 패턴의 차이 또한 확인할 수 있다. 그림 8의 PCA plot은 이러한 패턴의 차이들을 그룹핑 결과로서 보여주고 있는데, 육안으로 볼 때에도 서로 다른 vapor 간의 구분이 비교적 명확함을 알 수 있다. 각 principal component coverage는 PC1 : 70.43 %, PC2 : 24.12 %으로 전체의 94.5 % 이상을 차지한다. 여기에 패턴인식 알고리즘을 적용한 표 3의 두 결과 모두 높은 수준의 자동 인식 성능을 보여주고 있다. PDA 상에서 측정 및 저장된 데이터의 분석 결과를 통해 휴대용 e-nose의 성능과 이로써 얻은 데이터의 유효성을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서 개발된 PDA 기반의 휴대용 e-nose 시스템을 이용해 다양한 vapor를 측정하고 그 결과를 분석한 결과, 재현성 있는 가스 감지 신호 및 vapor 패턴을 얻을 수 있었다. PCA 등을 통해 vapor의 종류별로 구분되는 패턴의 양상을 확인하고, 대표적인 패턴 인식 알고리즘들을 적용한 결과에서도 높은 수준의 인식률을 보임으로써, PDA 기반의 휴대용 e-nose의 성능 및 자동인식의 가능성을 검증하였다.

본 연구에서는 최종적으로 초소형 가스 센서 어레이에 센서 인터페이스 회로를 함께 내장한 System on Chip (SoC)의 제작과, 이를 장착한 초소형 e-nose의 개발, 그리고 이를 이용한 의료진단에의 활용을 목표로 하고 있다. 이를 위해 vapor의 자동 인식을 PDA 상에서 직접 수행 할 수 있도록 BPNN을 이용한 PDA 용 패턴 인식 모듈이 그림 9에 나타난 바와 같이 구현되었으며, 다양한 환경에서 보다 신뢰성 있는 가스 인식 성능을 얻기 위해, 기존의 maximum sensitivity 뿐 아니라 추가적인 vapor feature를 활용하는 방법을 개발하였다⁸⁾.

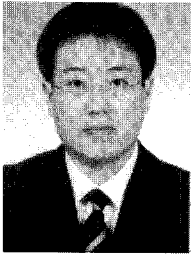
앞에서 e-nose를 이용한 진단방법을 몇 가지 언급한 바 있지만, 본 연구를 통해 향상된 e-nose의 사용성과 휴대성은 냄새 분석을 이용한 새로운 의료진단 방법을 개발하고 신속히 검증하는 데에 도움을 줄 수 있을 것으로 전망하며, 한편으로 이는 PDA의 활용분야를 넓히는데 또한 기여할 것으로 생각된다. 아울러 본 연구에 사용된 소형 e-nose 모듈은 작은 크기를 힘입어, PDA 뿐 아니라, 최근 각광을 받고 있는 디지털 융합기기(digital convergence)나 각종 내장형 시스템(embedded system)에도 장착이 가능하므로, 앞으로는 품질관리나 의료진단 등 전문가적 용도 이외에도 일상 생활에서 e-nose를 볼 수 있는 기회는 더 많아질 것으로 기대된다⁹⁾.

Acknowledgements

This work has been supported in part by the Ministry of Information and Communication of Korea and in part by the Ministry of Science and Technology of Korea through the NRL program.

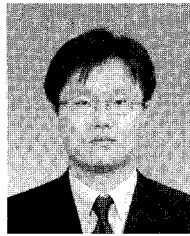
References

- [1] T. C. Pearce, S. S. Schffman, H. T. Nagle, and J. W. Gardner, Handbook of machine olfaction, Wiley-Vch. Weinheim, 2003.
- [2] Y. Mo, Y. Okawa, K. Inoue, and K. Natukawa, "Low-voltage and low-power optimization of micro-heater and its on-chip drive circuitry for gas sensor array", *Sens. Actuators A Phys.*, vol. 100, pp. 94-101, 2002.
- [3] C. D. Natale, A. Macagnano, E. Martinelli, R. Paolesse, G. D. Arcangelo, C. Roscioni, A. Finazzi-Agrò, and A. D. Amico, "Lung cancer identification by the analysis of breath by means of an array of non-selective gas sensors", *Biosensors and Bioelectronics*, vol. 18, pp. 1209-1218, 2003.
- [4] Julian W. Gardner, Hyun Woo Shin, and Evor L. Hines, "An electronic nose system to diagnose illness", *Sensors and Actuators B Chem.*, vol. 70, pp. 19-24, 2000.
- [5] S. Ha, Y. S. Kim, Y. Yang, Y. J. Kim, S. Cho, H. Yang, and Y. T. Kim, "Integrated and microheater embedded gas sensor array based on the polymer composites dispensed in micromachined wells", *Sensors and Actuators B Chem.*, in press.
- [6] 임준우, 이상문, 강봉희, 정완영, 이덕동, "동일면상에 heater와 감지전극을 형성한 마이크로 가스센서의 제작 및 특성", *센서학회지*, vol. 8, no. 2, pp. 115-123, 1999년 3월.
- [7] B. J. Doleman, M. C. Lonergan, E. J. Severin, T. P. Vaid, and N. S. Lewis, "Quantitative study of the resolving power of arrays of carbon black-polymer composites in various vapor-sensing tasks", *Anal. Chem.*, vol. 70, pp. 4177-4190, 1998.
- [8] Y. S. Yang, S. Ha, and Y. S. Kim, "A matched-profile method for simple and robust vapor recognition in electronic nose (E-Nose) system", *Sensors and Actuators B Chem.*, in press.
- [9] 이덕동, 박길흠, 최두현, 한대현, 백운이, 임정옥, 황태진, "다중 센서를 이용한 실내 환경 제어용 감성 측정기", *센서학회지* vol. 7, no 5, pp. 327-333, 1998년 9월.



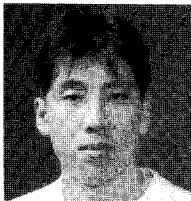
양 윤 석 (Yoon Seok Yang)

- 2002년 서울대학교 의용생체공학과 졸업 (박사)
- 2002년 ~ 2005년 한국전자통신연구원 (ETRI)
- 2005년 ~ 현재 전북대학교 생체정보공학과 교수
- 주관심분야 : human computer interaction, post-pc, medical imaging



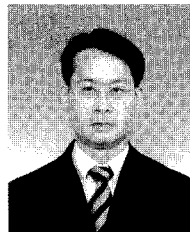
김 용 신 (Yong Shin Kim)

- 1997년 한국과학기술원(KAIST) 졸업(박사)
- 1997년 ~ 1997년 분자과학연구센터
- 1997년 ~ 현재 한국전자통신연구원 (ETRI)
- 주관심분야 : 나노소재, 전자후각, 초소형화학센서



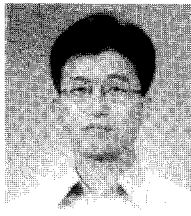
하 승 철 (Seung-chul Ha)

- 1997년 서울대학교 재료공학과 졸업(석사)
- 1999년 ~ 2002년 하이닉스 반도체
- 2002년 ~ 2005년 한국전자통신연구원 (ETRI)
- 2005년 ~ 현재 서울대학교 재료공학과 박사과정
- 주관심분야 : monolithic electronic nose, 지능형 센서, nanoporous material 가스 센서



김 용 준 (Yong Jun Kim)

- 1997년 University of Akron 졸업(박사)
- 1997년 ~ 2000년 Connecticut 대학, Princeton 대학
- 2000년 ~ 현재 한국전자통신연구원 (ETRI)
- 주관심분야 : nanoencapsulating 메모리 분자, nanoclusters 합성, biosensor



조 성 목 (Seong Mok Cho)

- 2001년 포항공과대학교 신소재공학과 졸업(박사)
- 1992년 ~ 1996년 삼성전자 반도체연구소
- 2001년 ~ 한국전자통신연구원(ETRI)
- 주관심분야 : MEMS 회로 일체형 센서, 반도체공정, 강유전 재료 응용

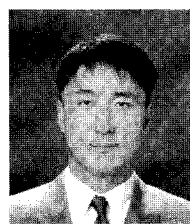
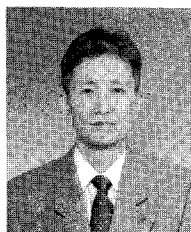


표 현 봉 (Hyeon Bong Pyo)

- 1995년 독일 함부르크대학 물리학과 졸업 (박사)
- 1995년 ~ 현재 한국전자통신연구원 (ETRI)
- 주관심분야 : 표면 플라즈몬 공명 (SPR) 센서 및 이미징, 바이오센서의 비표지 감지방법



최 창 익 (Chang Auck Choi)

- 1999년 경북대학교 전자공학과 졸업(박사)
- 1980년 ~ 1986년 (구) 전자기술연구소
- 1986년 ~ 현재 한국전자통신연구원 (ETRI) 마이크로시스템연구부장
- 주관심분야: 반도체소자공정, MEMS 소자, 반도체 센서
- e-mail : ju-hyun@uos.ac.kr