

## 가스센서 어레이와 인공 신경망을 이용한 소형 전자코 시스템의 제작 및 특성

### Fabrication and Characterization of Portable Electronic Nose System using Gas Sensor Array and Artificial Neural Network

홍형기\* LG 종합기술원, 소재연구소  
권철한 LG 종합기술원, 소재연구소  
윤동현 LG 종합기술원, 소재연구소  
김승렬 LG 종합기술원, 소재연구소  
이규정 LG 종합기술원, 소재연구소

Hyung-Ki Hong\* LG Corporate Institute of Technology, Devices & Materials Lab.  
Chul Han Kwon LG Corporate Institute of Technology, Devices & Materials Lab.  
Dong Hyun Yun LG Corporate Institute of Technology, Devices & Materials Lab.  
Seung-Ryeol Kim LG Corporate Institute of Technology, Devices & Materials Lab.  
Kyuchung Lee LG Corporate Institute of Technology, Devices & Materials Lab.

#### Abstract

An electronic nose system is an instrument designed for mimicking human olfactory system. It consists generally of gas (odor) sensor array corresponding to olfactory receptors of human nose and artificial neural network pattern recognition technique based on human biological odor sensing mechanism. Considerable attempts to develop the electronic nose system have been made for applications in the fields of foods, drinks, cosmetics, environment monitoring, etc. A portable electronic nose system has been fabricated by using oxide semiconductor gas sensor array and pattern recognition technique such as principal component analysis (PCA) and back propagation artificial neural network. The sensor array consists of six thick film gas sensors whose sensing layers are Pd-doped  $WO_3$ , Pt-doped  $SnO_2$ ,  $TiO_2$ - $Sb_2O_5$ -Pd-doped  $SnO_2$ ,  $TiO_2$ - $Sb_2O_5$ -Pd-doped  $SnO_2$  + Pd filter layer,  $Al_2O_3$ -doped ZnO and PdCl<sub>2</sub>-doped  $SnO_2$ . As an application the system has been used to identify CO/HC car exhausting gases and the identification has been successfully demonstrated.

#### 1. 서론

최근 고기, 생선 등과 같은 식품의 신선도/부패도 측정이나 주류의 품질관리, 숙성도, 생산지 파악 및 향수/커피/담배 등의 원료 및 종류 구별 등 다양한 분야의 응용을 위하여 전자코 시스템에 대한 연구 및 개발이 활발히 진행되고 있다.<sup>1-4)</sup> 전자코 시스템은 인간이 냄새를 인식하는 과정을 모방한 전자장치로서 인간의 코에 대응하는 가스센서 어레이와 뇌의 정보처리 방식에 기초를 둔 인공 신경망의 패턴 인식 시스템으로 구성된다.<sup>5-9)</sup> 일반적으로 기존의 전자코 시스템은

구성 소프트웨어 및 하드웨어의 규모가 크고 가격이 수 천만원 대로 고가이기 때문에 수요가 한정되어 있었다. 그러나 특정 목적으로 응용을 한정하여 시스템 하드웨어와 소프트웨어를 대폭 줄인 소형 전자코 시스템이 개발되면 가격이 싸지고 사용이 편리해지기 때문에 수요가 늘어나고 응용이 확대될 것으로 기대된다.

따라서 본 연구에서는 센서 어레이와 패턴 인식 소프트웨어가 내장되어 있고 크기가 작고 동작이 간편한 소형 전자코 시스템을 설계 및 제작 하였으며, 응용으로서 최근 자동차 수의 급격한 증가로 인하여 대기 환경

오염을 크게 유발시키는 **CO/HC** 가스 농도 패턴의 인식 실험에 적용하였다. 센서 어레이는 스크린 인쇄공정을 이용하여 후막형 반도체 가스센서 어레이를 제조하였다. 패턴 인식 소프트웨어는 주성분 분석과 백 프로퍼게이션 인공 신경망을 적용하였다. 하드웨어의 구성은 16비트 인텔 80196을 마이크로프로세서로 사용하였으며, 인공 신경망의 최적화된 가중치는 **EEPROM**에 저장하고, 가스농도의 결과치는 **LCD**로 표시되게 하였다. 실제로 26가지의 **CO/HC** 혼합가스 농도 패턴에 대한 인식 실험 결과 인식을 100%의 우수한 특성을 얻을 수 있었다.

## 2. 신호처리 및 신경망 구성

**CO, HC**의 단계별 농도를 식별하기 위해서 그림 1과 같은 3층 구조의 신경망을 구

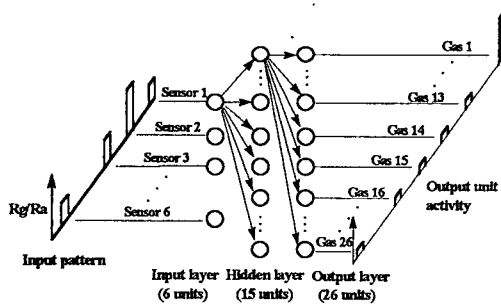


그림 1. **CO, HC**의 단계적 농도식별을 위한 3층 백 프로퍼게이션 인공 신경망

표 1. 인공 신경망의 입력층으로 사용된 센서들의 제조조건

구분	감지막 조성	하소온도	소결온도	동작온도
센서 #1	$WO_3 : Pd = 99 : 1 \text{ wt}\%$	700 °C	600 °C	300 °C
센서 #2	$SnO_2 : Pt = 99 : 1 \text{ wt}\%$	700 °C	600 °C	300 °C
센서 #3	$SnO_2 : TiO_2 : Sb_2O_5 : Pd = 84 : 10 : 5 : 1 \text{ wt}\%$	600 °C	600 °C	400 °C
센서 #4	$(SnO_2 : TiO_2 : Sb_2O_5 : Pd = 84 : 10 : 5 : 1 \text{ wt}\%) + Pd \text{ layer}$	600 °C	600 °C	400 °C
센서 #5	$ZnO : Al_2O_3 = 90 : 10 \text{ mol}\%$	1100 °C	900 °C	500 °C
센서 #6	$SnO_2 : PdCl_2 = 99.9 : 0.1 \text{ wt}\%$	700 °C	900 °C	500 °C

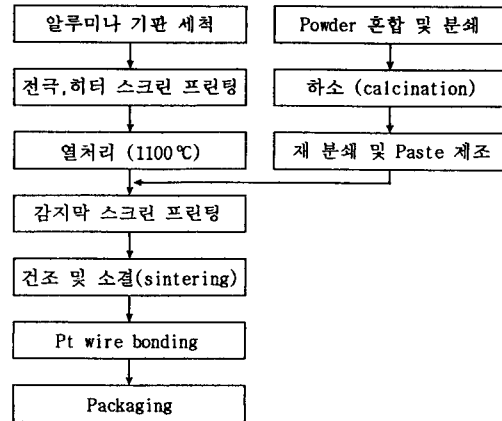


그림 2. 센서의 제조 공정도

성하였다. 신경망의 입력층은 6개의 센서로 구성되며 각 센서는 스크린 인쇄 공정을 이용하여 제조되었으며 제조조건은 표 1과 같고 상세한 제조 공정은 그림 2와 같다. 제조된 센서들은 산화물 반도체 가스센서로서 그 검지 원리는 특정 동작온도에서 산화물 반도체 표면에서 대기 중에 포함된 산소  $O_2$ 가  $O, O^2$ 의 형태로 화학 흡착되면서 전자를 반도체로부터 받아서 센서 저항값이 안정된 값을 유지하다가 **CO**나 **HC**와 같은 환원성 가스가 반도체 표면 위에서  $O, O^2$ 와 반응하여 전자를 반도체에 되돌려 주면서 저항값이 감소하는 것을 이용한 것이다. 표 1에서 각 센서는 감지막 조성, 하소온도, 소결온도를 각각 다르게 하여 제조되었다. 센서 #1과 2는 **CO**에 잘 반응하도록 감지막 조성 및 동작온도가 선택되었고, 센서 #3과 4는 **HC**에 잘 반응하도록 설계되었다. 센서 #5는 공연비 제어 센서로 개발된 것이며, 센서 #6은 더미로 제작한 것이다. 즉, 각 센서는 **CO/HC** 혼합 가스 패턴에 대해 다양한 감도 패턴이 나타나게 설계한 것이며, 이러한 센서 어레이의 서로 상이한 감도 패턴을 인공 신경망의 입력층으로 사용하였다. 출력층은 26가지의 **CO/HC** 혼합농도 패턴으로 하였다.

## 3. 시스템 및 구성도

그림 3은 백 프로퍼게이션 신경망 이론

을 구현할 시스템 구성도이다. 중앙 처리 장치로 16 비트 80196 마이크로 프로세서를 사용하였고 시스템 본체 프로그램 저장용으로 EPROM 을, 신경망의 최적화된 가중치를 저장하기 위해서 EEPROM 을, 검지 가스의 농도를 나타내기 위한 출력장치로 LCD 를 사용하였다. 주성분 분석이나 백 프로퍼게이션 인공 신경망의 학습은 Notebook PC 에서 행하고 학습이 완료된 신경망의 최적화된 가중치는 RS232 통신에 의해 PC 로부터 시스템 본체의 EEPROM 에 다운 로딩하였다. 그림 4는 시스템의 동작 순서도를 나타낸 것이다. 먼저 전원을 인가시키면 시스템의 초기화를 행한다. 초기화가 완료되면 펌프를 ON 시켜 시스템 내의 센서로 공기를 흡입하면서 센서 신호를 읽어들인다. 만일 센서 신호가 안정이 되면 일정시간 동안 가스 샘플링을 행한 다음 펌프를 OFF 시킨다.

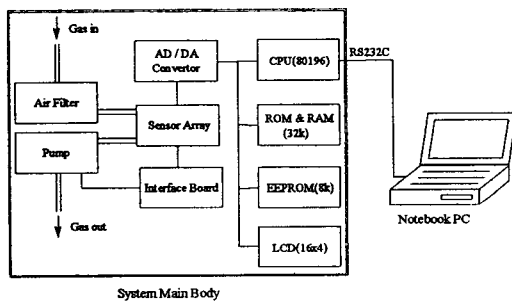


그림 3. 전자코 시스템의 구성도

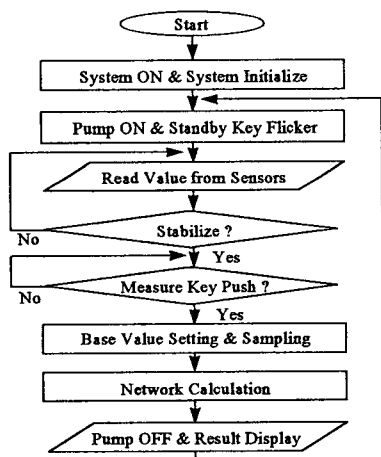


그림 4. 전자코 시스템의 동작 순서도

측정된 각 센서의 감도치 S 를 신경망에 입력하면 결과치를 LCD 화면으로 표시해 준다. 이때, 각 센서의 감도치 S ( $R_{gas}/R_{air}$ )는 가스 분위기에서의 센서의 최소 저항치 ( $R_{gas}$ )와 공기 분위기에서 센서의 평균 저항치 ( $R_{air}$ )와의 비율로 정의하여 사용하였다. 측정이 끝나면 다시 펌프를 ON 시키고 다음 측정을 위한 대기 상태로 들어간다.

#### 4. 패턴 인식 실험 결과

그림 5는 센서 어레이의 감도 데이터를 바탕으로 행한 주성분 분석 패턴을 나타낸 것이다. 주성분 분석의 입력 변수로서 각 센서의 감도치 S 를 사용하였다. 주성분 분석은 다차원 데이터 패턴을 알기 쉬운 저차원의 데이터 패턴으로 표시해 주는 것으로서 1-axis (가로축)과 2-axis (세로축)의 % 값은 전체적인 패턴 분리에 대한 기여도를 나타낸다. 그림에서 1차원 축의 패턴 분리에 대한 기여도가 79.29%로서 1차원 축상에서 데이터 패턴이 멀리 떨어져 있을수록 패턴 분리가 용이함을 나타낸다. CO 및 HC 농도가 증가함에 따라서 경향성을 가지면서 농도 패턴이 왼쪽으로 이동하는 양상을 보인다. 비록 데이터 패턴들이 부분적으로는 서로 가까이 인접해있으나 겹치지않기 때문에 인공 신경망을 적용하면 충분히 패턴 분리가 가능함을 시사한다. 실제로 백 프로퍼게이션 인공 신경망을 이용하여 20,000 번 학습한 결과 100%의 인식율을 얻을 수 있었다.

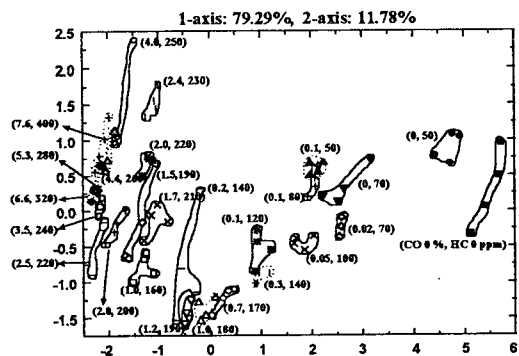


그림 5. CO/HC 가스에 대한 센서 어레이의 주성분 패턴

이러한 결과는 자동차 배기가스 측정을 목적으로 한 소형 전자코의 응용이 충분히 가능함을 시사하며 향후 환경, 식품, 안전 및 안락/편리 등에 널리 적용될 수 있으리라 기대된다. 그림 6은 본 연구의 소형 전자코 시스템의 외관을 나타낸 것이다.

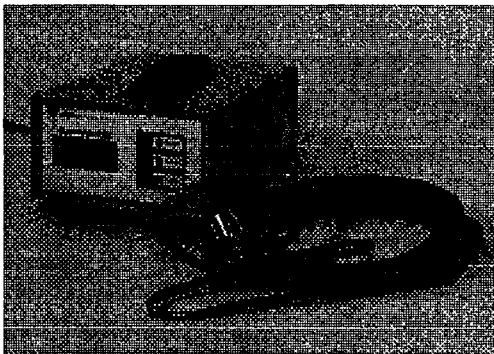


그림 6. 소형 전자코 시스템의 외관

## 5. 결론

주성분 분석 및 백 프로퍼게이션 인공 신경망의 패턴 인식 알고리즘을 적용한 소형 전자코 시스템을 설계하였다. 가스 센서 어레이를 제조하였으며 패턴 인식 기술을 결합하여 소형 전자코 시스템을 제작하였다. 센서 어레이는 스크린 인쇄공정을 이용하여 후막형 반도체 가스센서 어레이로 제조하였다. 하드웨어의 구성은 16비트 인텔 80196을 마이크로 프로세서로 사용하였으며, 인공신경망의 최적화된 가중치는 EEPROM에 저장하고, 가스농도의 결과치는 LCD로 표시되게 하였다. 응용으로서 26가지의 CO/HC 혼합가스 농도 패턴에 대한 인식 실험으로부터 인식을 100%의 우수한 특성을 얻을 수 있었다.

## 참고문헌

[1] J. W. Gardner and P. N. Bartlett, "Monitoring of fish freshness using tin oxide sensors," *Sensors and Sensory Systems for an Electronic Nose*, Kluwer Academic Publishers (1992) 257-272.

[2] H. Nanto, K. Kondo, M. Habara, Y. Douguchi, R. I. Waite and H. Nakazumi, "Identification of aroma from alcohols using a Japanese-lacquer-film-coated quartz resonator gas sensor in conjunction with pattern recognition analysis," *Sensors and Actuators B*, Vol. 35-36 (1996) 183-186.

[3] T. Nakamoto, S. Sasaki, A. Fukuda and T. Moriizumi, "Selection method of sensing membranes in odor-sensing system," *Sensors and Materials*, Vol. 4, No. 2 (1992) 111-119.

[4] H. V. Shurmer, J. W. Gardner and H. T. Chan, "The application of discrimination techniques to alcohols and tobaccos using tin oxide sensors," *Sensors and Actuators*, Vol. 18 (1989) 361-371.

[5] K. Persaud and G. Dodd, "Analysis of discrimination mechanisms in the mammalian olfactory system using a model nose," *Nature*, Vol. 299, No. 23 (1982) 352-355.

[6] J. W. Gardner, "Detection of vapors and odors from a multisensor array using pattern recognition," *Sensors and Actuators B*, Vol. 4 (1991) 109-115.

[7] T. Nakamoto, H. Takagi, S. Utsumi and T. Moriizumi, "Gas/odor identification by semiconductor gas sensor array and an analog artificial neural-network circuit," *Sensors and Actuators B*, Vol. 8 (1992) 181-186.

[8] H. K. Hong, H. W. Shin, H. S. Park, D. H. Yun, C. H. Kwon, K. Lee, S. T. Kim and T. Moriizumi, "Gas identification using micro gas sensor array and neural network pattern recognition," *Transducers'95 / Eurosensors IX*, Vol. 2 (1995) 687-690.

[9] H. K. Hong, H. W. Shin, H. S. Park, D. H. Yun, C. H. Kwon, K. Lee and T. Moriizumi, "Electronic nose with micro gas sensor array," *Sensors and Actuators B*, Vol. 35-36 (1996) 338-341.