

# 센서 어레이를 이용한 신경망 기반의 가스 인식 시스템 개발

## A development of neural-network based gas recognition system using sensor array

김영진, 정종혁, 강상욱, 조영창  
경운대학교 정보통신공학과

Young-Jin Kim, Jong-Hyeog Jeong, Sang-Wook Kang, Young-Chang Cho  
Dept. of information and communication, Kyungwoon University

### 요 약

산업의 발달과 더불어 CO, H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> 등에 의한 대기오염이 심각해져 가스중독의 위험성이 고조되었을 뿐만 아니라, 생활수준의 향상으로 부탄(C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>)이나 프로판(C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) 등의 폭발성 탄화수소계 가스들의 수요가 급증하는 가운데 가스폭발의 위험성이 대두되고 있다. 이에 대한 방비책으로 고감도 가스센서의 개발 뿐만 아니라 가스센서를 응용한 가스검출 및 가스식별 시스템의 개발이 시급한 실정이다. 본 연구에서는 반도체식 가스센서의 선택도에 대한 문제점을 개선하는 동시에 단일 센서신호의 드리프트에 대한 영향을 최소화하기 위해 반도체식 가스센서 어레이를 구성하고, 이로부터 검지된 가스별 입력 패턴데이터를 신경 회로망(neural network)에 적용함으로써 가스의 종류를 선택적으로 인식할 수 있는 가스인식 시스템을 개발하고자 한다.

### Abstract

Polluting the air with such pollutants as CO, H<sub>2</sub>S and SO<sub>2</sub>, industrial development has increased the danger of gas toxication. Furthermore, as the living standard goes higher, the consumption of explosive hydrocarbonic gases such as butane(C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>) or propane(C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) has been soaring, which results in the danger of a gas explosion. As measures to cope with such dangers, the development of highly sensitive gas sensors, gas detectors adopting gas-sensing technologies, and gas recognition systems are urgently required. The objective of the present research is to develop a gas recognition system that is capable of identifying specific types of selected gases by formulating a semiconductor-typed gas sensor array, which not only improves the selectivity of semiconductor-typed gas sensors but also minimizes the effect of drifts on a single sensor signal, and applying the input pattern data of gases detected by the array to a neural network.

### 1. 서론

각종 폭발성 가스나 유해가스의 사용이 빈번해짐에 따라 인위적 부주위로 기인된 가스중독이나 가스폭발의 위험성이 고조되어 왔으며, 가스 재난사고를 사전에 방지하기 위한 예방책으로 고감도 가스센서의 개발 뿐만 아니라, 가스센서를 응용한 가스검출 및 식별 시스템의 개발이 연구되고 있다. 가스센서는 대기환경이나 작업환경에 존재하는 각종 가스의 농도를 전기적 신호로 변환시킬 수 있는 소자로서 여러 응용분야에서 요구되는

기능과 목적에 맞게 빠른 응답속도, 안정성, 재현성, 선택성 그리고 경제성 등을 가져야 한다. 현재 상용화 또는 연구개발 단계에 있는 가스센서에는 반도체 센서, 집속 연소식 센서, 전기 화학식 센서, 고체 전해질형 센서, 탄성 표면과 센서 및 비분산 적외선 센서 등이 있다. 이 중에서 특히 반도체식 센서는 감지속도가 비교적 빠르고 경제적이며, 적당한 첨가제의 적용만으로 특정가스에 대한 선택성을 부여할 수 있다는 장점이 있다. 반면에 특정가스에 대한 완벽한 선택성을 갖게 하기 위한 재료공학적인 요구조건이 아직 해결되지 못

하고 있으며 주변환경인자에 따른 소자감도의 변화와 신호의 안정성 결여 등이 문제점으로 대두되고 있다. 이러한 문제점은 최근 연구되고 있는 센서 어레이 응용기술과 신경 회로망을 통해 해결점이 모색되고 있다. 최근의 SnO<sub>2</sub>를 주원료로 하는 센서에 대한 연구에서는 센서의 특성을 임피던스 변화로 제시하고 있으며, 이를 신경 회로망과 접목할 경우, 보다 쉽게 가스의 종류를 식별할 수 있는 특성이 나타난다.

본 연구에서는 반도체식 가스센서를 이용한 센서 어레이를 구성하고, 이로부터 얻어진 특정가스에 대한 패턴 데이터를 신경 회로망으로 처리함으로써 선택적으로 가스종을 인식하고 정량화할 수 있는 센서 어레이 시스템 기반의 가스인식 시스템을 개발하고자 한다.

## 2. 가스센서 어레이

반도체식 가스센서는 특정 가스의 농도에 따라 반도체 표면에서의 구성입자와 가스입자 간의 화학적인 상호작용에 의해 변화되는 전기 전도도와 정전용량을 이용함으로써 가스를 검지한다. 또한, 반도체식 가스센서는 모든 환원성 기체에 대해 반응하므로 특정가스에 대한 선택성은 센서의 히터전압을 변화시키거나 첨가제의 부여를 통해 조절가능하다. 현재 사용 중인 대부분의 반도체식 가스 검출기들은 가스별로 하나의 가스 센서만을 사용하고 있기 때문에 해당 가스의 존재유무 검출이나 농도측정에만 사용되고 있으며, 여러 종류의 가스가 혼재하고 있는 산업현장에서와 같이 가스종의 인식이나 식별된 가스의 농도에 대한 신뢰성 있는 정량화가 요구되는 곳에서는 만족할 만한 성능을 내지 못하고 있는 실정이다. 반면에, 본 연구에서 의도하는 여러 개의 센서를 조합한 센서 어레이는 각 센서에 의해 검지된 전압으로부터 가스패턴을 구성하여 처리하기 때문에 혼합된 가스로부터 특정 가스종을 인식하거나 해당 가스의 농도를 신뢰성 있게 정량화할 수 있는 장점이 있다.

## 3. 신경망

신경망은 산술연산 속도가 느린 반면, 비선형적 분류 및 값의 유동성 수용이 가능하며, 기본구조에서 학습내용과 조건에 따라 연결강도를 달리함으로써 학습을 반복할 수 있다는 등의 이점을 제공한다.

가스인식 시스템에서 반도체 센서를 사용할 경우에 극복되어야 할 문제점으로는 선택도(selectivity)와 온도 및 습도의 영향에 의한 드리프트(drift) 그리고 복귀성의 부족을 들 수 있다. 이러한 문제점에 대해 신경망

은 반도체 센서의 낮은 선택도를 향상시키는 동시에 온도 및 습도에 의한 드리프트와 복귀성을 개선시키는데 있어서도 효과적이다. 대표적으로 역전파 학습에 의한 다층 신경 회로망은 패턴인식이나 시스템 근사화를 위한 강력한 도구로서 많이 이용되고 있으며, 본 연구에서도 도입하고 있다.

### 3.1 역전파 알고리즘

역전파 알고리즘(back propagation, BP)은 신경망에서 가장 많이 채택되어 이용되고 있는 학습 알고리즘으로 비선형적인 분류능력을 가진 교사있는 학습 알고리즘(supervised learning algorithm)이다. BP 알고리즘은 입력패턴에 해당하는 출력 목표값이 정해지면 입력에 대한 실제 출력이 목표값에 일치하도록 학습된다. 만약, 실제 출력이 목표값에 일치하지 않는 경우에는 이전 계층에서의 학습 연결강도를 조절하고 이전 계층에서 다시 목표값과 비교한 후, 또 다시 그 이전의 앞단으로 학습 연결강도를 조절해 간다. 따라서, BP 알고리즘은 학습시간이 많이 소요되고 구조가 복잡하다는 단점을 가지고 있으나 세밀한 분류작업을 가능케 한다. BP 알고리즘에서는 초기 연결강도를 랜덤하면서도 작은 값으로 설정해야 하며, 학습 도중에 목표값이 국부적 최적해에 고립되지 않도록 학습을 설정에 주의해야 한다. 또한, 은닉노드수는 학습과정동안 신경망의 학습 속도와 오차의 크기를 관찰함으로써 결정된다. 일반적으로 은닉노드수가 증가할 경우, 학습속도가 향상되며, 많은 학습 데이터로 인하여 메모리를 많이 차지하지만 분류특성이 향상되는 경향이 있다.

### 3.2 계층 알고리즘

정량화를 위한 계층의 전체구조는 다중채널로 입력된 센서 감도신호를 정규화(normalization)시킨 후, 그 신호들의 합을 전처리된 센서신호들과 같이 신경망의 입력으로 보낼 수 있도록 입력단에 정량화를 위한 입력노드를 하나 더 추가하였다. 그리고 출력단은 인식을 위한 노드와 함께 입력가스 농도에 비례하는 출력노드를 추가하였다. 정량화를 위한 학습데이터는 검지범위 내에서의 개별가스농도에 대한 센서응답신호를 감도와 정규화신호로 처리한 다음, 정규화 신호와 그 합을 입력의 학습 데이터로 설정하였다. 그리고, 정규화된 각 신호패턴에 따른 최대출력과 정규화 신호의 합을 교사신호로 설정하였다. 식에서 S<sub>k</sub>는 k번째 센서의 감도를 나타내며, t<sub>i</sub>는 교사신호를 설정하여 학습시킬 경우, 교사신호와 입력신호 x<sub>i</sub>가 같도록 설정된다.

$$t_i = \sum_{k=1}^n S_k \quad (1)$$

계측을 위한 학습 알고리즘은 정량화된 전체 센서 감도입력의 누적합을 신경망의 입·출력노드에 입력 학습 데이터와 교사신호로 대입시켜서 각각의 가스농도마다 가스패턴과 가스농도를 얻도록 학습시켰다. 학습의 능률면에서 학습속도를 증가시키기 위해서는 입력 크기를 전처리할 시에 학습값의 크기가 작도록 보정해주는 것이 필요하다.

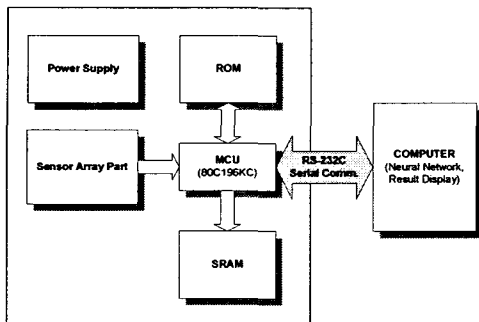
### 3.3 센서신호 전처리부

센서의 노화경향과 드리프트를 최소화하여 개별가스에 대한 센서응답이 신경망의 신뢰성있는 입력신호로 주어지기 위해 검지신호의 전처리에서 하나의 검지신호값을 정의할 때 전체 검지신호의 가중치로 설정하는 정규화된 신호처리를 한다면 센서들의 감도가 둔화될 때에도 일정한 출력신호를 가지게 된다. 그리고, 검지된 신호의 드리프트에 대한 문제점도 입력패턴이 다르지 않는 한 사용된 역전파 알고리즘이 특정해에서 벗어나는 범위가 작을 경우에도 같은 가스패턴으로 인식하기 때문에 인식값에 대한 계측을 올바르게 행할 수 있다.

## 4. 가스인식 시스템

### 4.1 시스템 구성

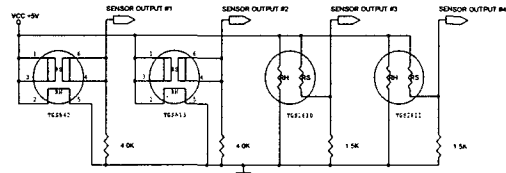
(그림 1)은 가스인식 시스템의 하드웨어 블록 다이어그램을 나타낸 것이다. 그림에서 MCU는 8채널 10비트 ADC를 내장하고 있는 80C196KC를 사용하였다. 센서 어레이부에서는 공기 중에서의 센서신호 드리프트에 의한 초기 전도도의 변화와 각 센서별로 다른 초기 저항으로 인해 래치와 8개의 저항 어레이를 사용하여 부하저항을 기준전압(1V) 근처로 정하였다. 센서 어레이로부터 검지된 가스패턴 데이터는 시리얼 포트(RS-232C)를 통해 컴퓨터로 전송된 후, PC기반의 신경망 알고리즘에 의해 가스종류가 인식되고 그 인식결과를 출력하도록 하였다.



(그림 1) 제작한 시스템의 하드웨어 블록 다이어그램

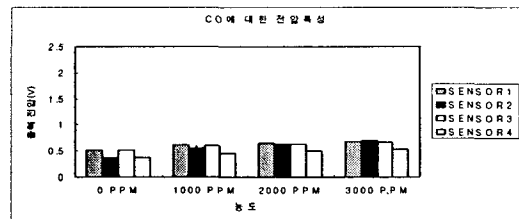
### 4.2 센서 어레이부

본 연구에서는 폭발성 가스에 대한 가스인식 시스템을 개발하기 위하여 Figaro사의 TGS813, TGS842, TGS2610, TGS2611 가스센서를 사용하여 센서 어레이를 구성하였다. 여기서, TGS813은 가연성 가스를 측정하기 위한 센서로서 LP-Gas/Propane에 감도를 가지고 있으며, TGS842와 TGS2611은 천연가스와 메탄가스에, TGS2610은 일반 가연성 가스에 감도를 가진다. 각 센서의 감응특성은 측정용 챔버에서 실시되었으며, 주입된 가스농도에 따른 각 센서 감지막의 저항변화에 대해 부하저항의 분배전압을 감지전압으로 측정하였다. 이를 위한 센서어레이 신호 검출회로는 (그림 2)와 같다.

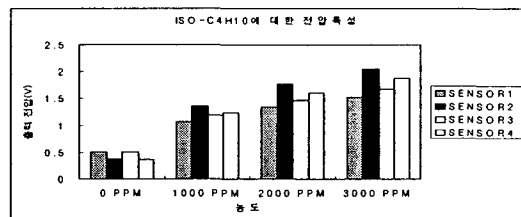


(그림 2) 센서어레이 신호검출 회로

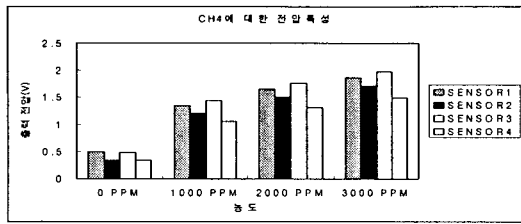
센서 어레이의 감응특성은 CO, CH<sub>4</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> 그리고 ISO-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>에 대해서 실험이 행해졌으며, 각 가스에 대해 0[PPM], 1000[PPM], 2000[PPM], 3000[PPM]을 주입하여 가스에 대한 특성을 조사하였다. 센서의 부하저항은 2.2KΩ으로 하였다. 가스에 대한 센서의 반응은 전체적으로 ISO-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>과 C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>에 대하여 감도가 양호하게 나타났으며, CO에 대해서는 감도가 좋지 못했으나 가스농도에 따라 다양한 출력특성을 보였다. (그림 3)에서 (그림 6)은 가스별로 센서어레이의 감응 특성을 나타낸 그래프이다.



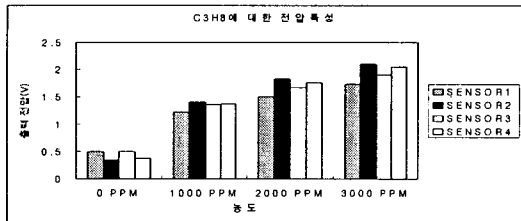
(그림 3) 센서 어레이의 CO 가스 감응특성



(그림 4) 센서 어레이의 ISO-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> 가스 감응특성



(그림 5) 센서 어레이의 CH<sub>4</sub> 가스 감응특성



(그림 6) 센서 어레이의 C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> 가스 감응특성

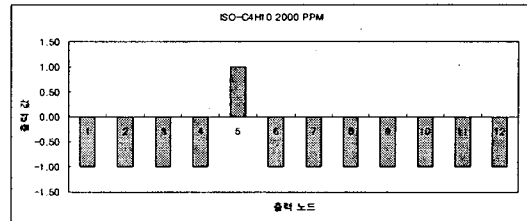
### 4.3 가스인식 시스템의 폭발성 가스인식 결과

본 연구에서 개발한 가스인식 시스템의 성능 테스트를 위해 폭발성 가스에 대한 인식 실험을 시행하였다. 실험에서 사용된 폭발성 가스로는 C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>, CO 그리고 CH<sub>4</sub>를 사용하였으며, 각 가스별로 1000, 2000, 3000 [ppm] 농도에 대해 가스인식 성능을 검사하였다. 신경망의 각 노드에 대한 연결강도는 역전파 알고리즘을 사용하여 학습시켰으며, 학습시에는 정확히 측정된 농도의 가스 데이터를 사용하였다. 이 밖에 신경 회로망에서의 학습률은 0.1로 하였으며, 학습회수는 1만회로 설정하였다. (표 1)은 CO, C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>, CH<sub>4</sub>에 대해 실제 농도와 가스별로 검출된 농도를 나타낸 것이다. 실험결과, 전체적으로 비교적 작은 오차가 나타남으로써 가스 농도를 신뢰성 있게 획득할 수 있었다.

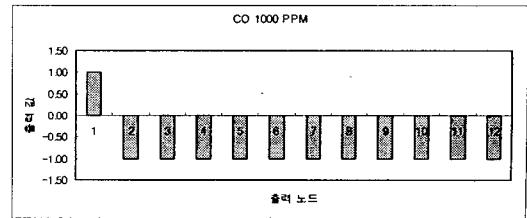
(표 1) 실제 가스농도와 학습을 통해 얻어진 가스농도의 결과비교

측정 가스농도	출력	오차
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> 1000 ppm	1051.5 ppm	51.5 ppm
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> 2000 ppm	2001.6 ppm	1.6 ppm
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> 3000 ppm	2966.7 ppm	33.3 ppm
CO 1000 ppm	1084.6 ppm	84.6 ppm
CO 2000 ppm	2231.6 ppm	231.6 ppm
CO 3000 ppm	3216.5 ppm	216.5 ppm
CH <sub>4</sub> 1000 ppm	1158.5 ppm	158.5 ppm
CH <sub>4</sub> 2000 ppm	1997.7 ppm	2.3 ppm
CH <sub>4</sub> 3000 ppm	2901.9 ppm	98.1 ppm

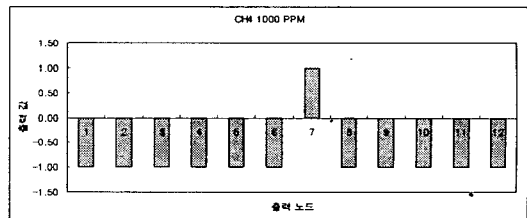
(그림 7)에서 (그림 9)는 가스인식 시스템의 가스종 인식결과를 나타내기 위해 지면상의 이유로 가스별로 1000[ppm]농도에 대해 얻어진 가스종 인식 결과를 나타낸 그래프이다. 그림에서와 같이 신경망의 출력은 인식된 가스에 대해서는 +1의 값을 가지며, 나머지 노드에서는 -1로 나타난다.



(그림 7) C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>에 대한 인식결과 그래프



(그림 8) CO에 대한 인식결과 그래프



(그림 9) CH<sub>4</sub>에 대한 인식결과 그래프

## 5. 결론

본 연구에서는 가스폭발이나 가스 오염사고와 같이 가스로 인한 재해로부터 인명과 재산상의 피해를 미연에 방지할 목적으로 특정 위험가스에 대한 적절한 대비책을 마련하기 위해 반도체식 가스센서를 응용한 가스 인식 시스템을 개발하였다. 또한, 반도체식 가스센서의 선택도 문제점을 개선하고 단일 센서신호의 드리프트 영향을 최소화하기 위해 다중입력을 받아들여 처리할 수 있도록 다채널 센서 어레이와 신경망을 도입하였다.

센서 어레이로부터 입력된 센서 검지신호를 처리하는 신경망 알고리즘에서는 비선택적이며 학습교사신호를

설정하여 학습시킬 수 있는 역전과 알고리즘을 사용하였다. 개발된 시스템에 대한 가스종 인식 실험결과, 폭발성 가스에 대한 인식률은 98%이었다. 또한, 입력된 가스패턴을 정확히 분류하고 그 인식된 가스에 대해 가스농도를 정량적으로 계측할 수 있었다. 그리고 채택한 역전과 알고리즘은 일정 수준의 오차를 허용하기 때문에 센서 검지신호의 드리프트시에도 안정된 패턴 인식을 가능하게 하였다.

본 시스템의 개발을 통해 축적된 신호처리 기술과 분석 프로그램은 가스 인식에 있어서 폭발성 가스 뿐만 아니라 다양한 종류의 가스들에 적용가능하여 의료 분야, 요식업, 자동차, 제어 및 계측, 방재, 주택 그리고 산업체 등의 환경기술개발사업에 응용될 수 있을 것으로 기대된다.

### 참고 문헌

- [1] J. M. Giachino, "Smart Sensors," *Sensors and Actuators*, Vol. 10, pp. 239-248, 1986.
- [2] C. Hierold and R. Muller, "Quantitative Analysis of Gas Mixtures with Non-Selective Gas Sensors," *Sensors and Actuators*, Vol. 17, pp. 587-592, 1989.
- [3] T. Oyabu, "Carbon Monoxide Gas Detector with Shortened Detection Cycle," *Sensors and Actuators*, Vol. 1, pp. 218-221, 1990.
- [4] T. Oyabu, "Tin Oxide Gas Sensor and Countermeasure System against Accidental Gas Leaks," *Sensors and Actuators*, Vol. 9, pp. 301-312, 1986.
- [5] Julian W. Gardner, Philip N. Bartlett, "A Brief History of Electronic Noses," *Sensors and Actuators*, Vol. B, pp. 211-220, 1994.
- [6] 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*, Vol. B, pp. 181-186, 1992.