

논문 99-8-6-06

신경회로망을 이용한 폭발성 가스 인식 시스템

반상우*, 조준기**, 이민호***, 이대식***, 정호용***, 허중수****, 이덕동***

An explosive gas recognition system using neural networks

Sang-Woo Ban*, Jun-Ki Cho**, Minho Lee***, Dae-Sik Lee***, Ho-Yong Jung***,

Jeung-Soo Huh****, Duk-Dong Lee***

요 약

다중 센서 어레이와 신경회로망을 이용하여 메탄, 프로판, 부탄 등의 폭발성 가스의 종류 및 농도를 실시간으로 분석하고, 인식하여 결과를 실시간으로 출력할 수 있는 가스 인식 시스템을 구현하였다. 정유 공장이나 도시 가스 배관 등에 비교적 많이 분포하는 폭발성 가스인 메탄, 프로판, 부탄등의 가스들을 분류하고, 그 농도를 인식할 수 있는 시스템의 구현을 위해, 우선 9개의 후막형 반도체식 가스 센서로 구성된 가스 센서 어레이로부터 얻어지는 다차원 신호를 Principal Component Analysis(PCA)를 이용하여 그 특성을 분석하였다. 분석 결과를 바탕으로 오차역전파 학습 알고리즘을 갖는 다층 구조 신경회로망을 이용하여 가스 종류 및 농도를 정확하게 인식할 수 있는 가스 인식 시스템을 구현하였으며, 실시간 처리 시스템을 위해 TMS320C31 DSP 보드를 이용하여 가스 인식 시스템을 구현하였다.

Abstract

In this paper, we have implemented a gas recognition system for classification and identification of explosive gases such as methane, propane, and butane using a sensor array and an artificial neural network. Such explosive gases which can be usually detected in the oil factory and LPG pipeline are very dangerous for a human being. We analyzed the characteristics of a multi-dimensional sensor signals obtained from the nine sensors using the principal component analysis(PCA) technique. Also, we implemented a gas pattern recognizer using a multi-layer neural network with error back propagation learning algorithm, which can classify and identify the sorts of gases and concentrations for each gas. The simulation and experimental results show that the proposed gas recognition system is effective to identify the explosive gases. And also, we used DSP board(TMS320C31) to implement the proposed gas recognition system using the neural network for real time processing.

1. 서 론

- * 경북대학교 센서기술연구소 (Sensor Technology Research Center, Kyungpook National Univ.)
 ** 경북대학교 센서공학과 (Dept. of Sensor Eng., Kyungpook National Univ.)
 *** 경북대학교 전자전기공학부 (School of Electronic Eng., Kyungpook National Univ.)
 **** 경북대학교 금속공학과 (Dept. of Metal Eng., Kyungpook National Univ.)
 <접수일자 : 1999년 8월 18일>

특정 가스를 보다 정확하게 검지 하기 위한 가스 인식 시스템 개발 연구는 특정 가스에만 잘 반응하는 개별 가스 센서 소자의 개발에 많은 노력을 해 왔으며, 안정성 측면에서 많은 향상을 가져왔다^[1]. 그러나, 가스 센서의 낮은 선택성은 여전히 정확한 가스 인식을 어렵게 하는 요인으로 작용하고 있다. 이러한 가스 센서의 낮은 선택성의 문제점을 해결하기 위해, 80년대 이

후 여러 가스에 대해 선택성은 낮으나 안정적으로 반응하는 가스 센서 어레이를 이용하여 특정 가스나 냄새를 인식하는 시스템을 개발하는 연구가 다양한 응용에 적용되어 왔다¹¹⁻⁹⁾. 센서 어레이를 이용한 가스 인식 시스템은 가스 센서 어레이가 단일 또는 혼합 가스에 반응하여 얻어지는 다중 신호를 신경회로망, 퍼지 등을 이용한 패턴 인식 기법으로 특정 가스를 분류하고 인식하는 지능형 시스템 기술로 전자코를 만드는 연구로 발전하고 있다¹²⁾. 전자코 시스템에 대한 연구는 90년대 중반 이후 활발히 진행되어 식품 품질 분석, 유해 가스 누출 인식, 대기 오염 측정 등 인간의 생명에 직·간접으로 영향을 미치는 다양한 응용에 적용되어 왔다^{12,4-8)}. 하지만, 아직까지 폭발성 가스를 실시간으로 인식하여 각 가스의 종류 및 농도를 제공하는 시스템은 개발되지 않고 있다. 메탄, 프로판, 부탄 등의 폭발성 가스는 정유 공장이나 도시 가스 배관 등에 비교적 많이 분포하는 가스들로 대형 폭발 사고의 방지를 위해 정확하고 실시간으로의 검출이 요구된다.

이 논문에서는 폭발성 가스 검출을 위한 9개의 후막형 반도체식 센서로 구성된 센서 어레이를 이용하여 메탄(CH_4), 프로판(C_3H_8), 부탄(C_4H_{10}) 등의 폭발성 가스의 종류를 실시간으로 인식할 뿐만 아니라, 그 농도를 출력으로 하는 가스 인식 시스템을 구현하였다. 우선, 폭발성 가스의 감지를 위해 9개의 후막형 반도체 센서 어레이를 제작하였다. 제작된 센서 어레이를 이용하여 메탄, 프로판, 부탄 가스 각각에 대해 2,000 ppm, 4,000 ppm, 6,000 ppm 등 세 가지 농도에 대해 9개 가스 센서들의 반응 감도를 데이터 획득 시스템을 통해 얻었다. 반복 실험을 통해 얻어진 가스 센서들의 감지 데이터를 가스 인식 시스템에 이용할 데이터 베이스로 구축하고, 구축된 데이터 베이스를 이용하여 Principal Component Analysis(PCA) 기법을 이용하여 감지 데이터의 특성을 분석하였다. 분석 결과를 바탕으로 최적의 가스 인식 시스템을 위한 패턴 인식을 오차 역전파 학습 알고리즘을 갖는 다층 구조 신경회로망을 이용하여 구현하였다. 폭발성 가스의 실시간 검출을 위해 가스 센서 어레이, 가스 센서 감지 데이터 획득 시스템, 가스 패턴 인식기 등 크게 세 부분으로 구성되는 가스 인식 시스템을 하드웨어적으로 구현하였다. 가스 패턴 인식기로 사용되는 신경회로망의 실시간 구현을 위해 TMS320C31 DSP칩을 탑재한 보드를 이용하였다. 제작된 가스 인식 시스템을 이용한 모의 실험 결과 학

습하지 않은 가스 데이터에 대해 약 99%의 인식률을 보였다.

II. 센서 어레이를 이용한 가스 인식 시스템 구현 및 제작

개별로 제작된 가스 센서들은 센서 제작 공정상의 오차나 측정 환경의 미소한 변화에도 출력 신호가 달라지는 문제점이 있으며, 또한 센서 시스템의 설계 시 소형화에 문제점이 있다. 따라서, 소형 경량이며 신뢰성 있는 가스 센서 시스템을 위해서는 센서 어레이를 이용해야 한다. 개별소자를 형성하는 기술을 바탕으로 9개의 폭발성 가스 검지 센서를 동일기판 위에 제작한 센서 어레이를 제작하였다. 이 경우에 400°C 에 이르는 가열 온도로 인한 주변 전자 소자의 성능 열화와 소켓의 녹아 내림으로 인한 센서 감도의 저하 그리고 기판 전체의 고른 온도 분포를 고려하여 새롭게 제작된 히터와 전극을 가진 센서 어레이를 그림 1과 같이 제작하였다. 이 때 센서 어레이 기판에 평균적으로 400°C 의 열 공급을 위한 소모전력은 22 W 정도였으며, 새로운 환경에 적합하도록 하기 위하여 안정성, 고감도 그리고 선택성을 고려해서 감지물질을 선별하였다. 한편, 기존에 단일 소자에 사용하였던 WO_3 계 센서와 ZnO를 모물질로 하는 센서의 경우에 초기 안정도와 저감도의 문제가 발생하였다. 그래서, 안정된 초기 전압 값을 보이는 SnO_2 를 모물질로 하고 서로 다른 9가지의 첨가물을 0.1~5.0wt% 범위에서 첨가하여 9가지(SnO_2+Pd , SnO_2+Pt , $\text{SnO}_2/\text{Au,Pt}$, $\text{SnO}_2+\text{Pt,Pd}$, SnO_2+CuO , $\text{SnO}_2+\text{La}_2\text{O}_3$, $\text{SnO}_2+\text{Sc}_2\text{O}_3$, $\text{SnO}_2+\text{TiO}_2$, SnO_2+WO_3)의 서로 다른 감도를 가진 센서를 제작할 수 있었다. 센서의 감지막을 위하여 공침법과 혼합법으로 제작된 감지물질을 이용하였고, 바인더는 유기바인더를 사용하여 screen printing법으로 제조하여, 100°C 에서 4 시간 건조시킨 후에 800°C 에서 2시간동안 공기분위기에서 열처리를 실시하여 센서 어레이를 완성하였다. 이렇게 제작된 센서어레이를 동작온도인 400°C 에서 24 시간동안 안정화시킨 다음에 측정 박스에서 메탄, 부탄, 프로판에 대한 가스 감도를 측정하였다. 이 때 9개 센서의 감도는 식 (1)을 이용하여 구하였다. 제작한 센서 어레이는 가스 주입 후 2-3초의 반응 시간 후에 반응의 포화가 일어나기 시작했으며, 탈착도 30초 이내에 거의 끝나는 것을 확인할 수 있었다. 식 (1)에서 R_a 는 가스

주입 전의 소자 저항이며, R_g 는 가스 주입 후의 소자 저항이다.

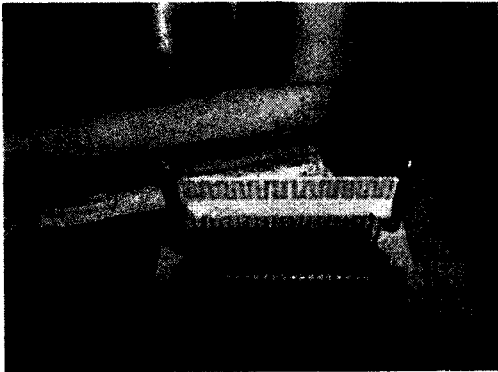


그림 1. 폭발성 가스 인식 시스템을 위한 후막형 반도체 센서어레이

Fig. 1 Overview of a fabricated sensor array

$$S = \frac{Ra - Rg}{Ra} \times 100(\%) \quad (1)$$

2.1 Principal component analysis를 이용한 가스 센서 어레이 신호 분석

Principal Component Analysis(PCA)는 다차원의 신호를 갖는 데이터를 최소한의 정보 손실을 가지며 보다 저차원의 데이터로 적절히 표현하는데 가장 효과적인 방법이라고 알려져 있다. PCA는 우리가 이해하기 힘든 다차원으로 주어진 데이터를 제 1 주성분과 제 2 주성분의 2차원으로 표현하여 가시적으로 나타냄으로써 대상 시스템의 특성을 이해하고 분석하는데 유용한 수단이다. 폭발성 가스 센서 시스템을 설계하고 제작하기 전에 가스 센서 어레이로부터 얻어지는 다차원의 데이터를 PCA 기법으로 분석함으로써 가스 센서 어레이의 특성에 가장 적합한 인식 알고리즘 및 하드웨어 설계가 가능할 것이다.

다차원으로 주어진 데이터로부터 구해야 하는 제 1 주성분과 제 2 주성분은 주로 가장 큰 값을 갖는 고유치와 두 번째 크기의 고유치에 의해 얻어지는 고유 벡터들이 사용된다. 이들 고유 벡터를 구하는 방법이 수치 해석적인 기법을 이용하여 구할 수도 있으나, 고유 벡터를 구하는 계산량은 분석해야 할 데이터의 차원이 증가함에 따라 매우 커져서 비효율적이다. 따라서, 이 연구에서는 Oja(1982)^[10]가 제안한 자기조직화 신경회로망을 이용하여 PCA 결과를 얻는 방법을 Sanger

(1989)가 변형 보완한 자기조직화 신경회로망을 이용하여 가스데이터에 대한 PCA 분석을 수행하였다. Sanger(1989)의 신경회로망은 그림 2와 같은 구조를 가진다^[11].

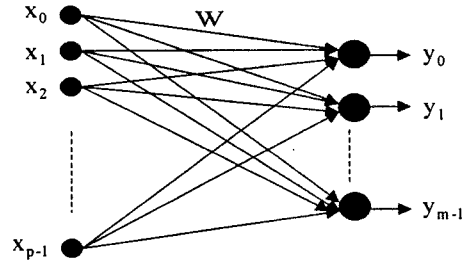


그림 2. PCA를 위한 자기조직화 신경회로망

Fig. 2 Self organizing neural network for principal component analysis

연결 강도의 학습 규칙은 식 (2)와 같고, 신경회로망의 출력은 식 (3)을 이용하여 구해진다. 그림 2의 신경회로망에서 하나의 출력노드에 연결된 가중치들이 하나의 고유 벡터가 되고, 출력 노드의 순서는 고유치의 크기 순서와 일치하게 된다. 행렬 연산을 이용한 PCA는 입력 데이터의 상관 행렬에 대한 고유 벡터를 구하는 것인데, 신경회로망을 이용한 PCA는 상관 행렬 연산과정이 필요 없어, 행렬 연산법과는 달리 입력 데이터의 차원 크기에 큰 영향을 받지 않고 고유 벡터를 구할 수 있다.

$$\Delta w_{ji}(n) = \eta [y_j(n)x_i(n) - y_j(n) \sum_{k=0}^{m-1} w_{ki}(n)y_k(n)] \quad (2)$$

$$y_j(n) = \sum_{i=0}^{p-1} w_{ji}(n)x_i(n), \quad j=0, 1, \dots, m-1 \quad (3)$$

식 (2)와 식 (3)에서 x_i 는 i 번째 입력 노드를, y_j 는 j 번째 출력 노드를 나타내고, p 는 입력 노드수로 센서 어레이를 구성하는 센서의 개수이며, η 는 학습율을 나타낸다. 그리고, w_{ji} 는 i 번째 입력 노드와 j 번째 출력 노드사이의 연결강도를 나타내며, m 은 고유 벡터의 개수를 결정한다.

그림 3은 제작된 센서어레이를 이용하여 위의 세 가지 폭발성 가스에 대해 2,000 ppm, 4,000 ppm, 6,000 ppm의 농도에 대해 각각 3회씩 반복 측정된 결과로 PCA 기법을 이용하여 분석한 결과를 나타낸다.

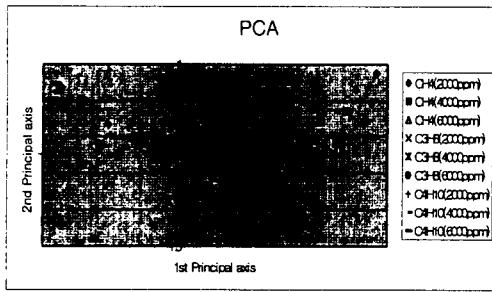


그림 3. 센서 어레이의 폭발성 가스에 대한 반응 데이터 PCA 결과

Fig. 3 PCA results of sensing data obtained from an array of nine sensors

그림 3에서 보는 바와 같이 프로판 6,000 ppm과 부탄 2,000 ppm은 PCA 기법에서는 상당히 유사한 반응을 보여 구별하기가 힘들다는 것을 알 수 있다. 그리고, 메탄 4,000 ppm과 2,000 ppm은 특정 데이터 군집에 모여 있지 않고, 비교적 큰 편차를 보인다는 것을 알 수 있다. 따라서, 세 가지 폭발성 가스들에 대해 보다 우수한 인식 시스템을 구현하기 위해서는 비슷한 특징을 갖는 데이터 군집들에 대해서도 세밀히 구분할 수 있으며, 통계적 편차까지 수용할 수 있는 알고리즘이 필요하다. 이를 위해, 최근에 복잡한 비선형 패턴의 분류 및 함수 근사화에 우수한 성능을 보이는 신경회로망을 도입하여 가스 인식 시스템을 구성하였다.

2.2 신경회로망을 이용한 가스 인식 시스템 구현

신경회로망은 인간의 정보 처리 과정을 모방하여 간단한 정보 처리 작용만을 수행하는 뉴런들을 대규모로 연결하여 정해진 알고리즘에 따라 단계적 계산을 반복 수행하는 대신에, 주변 환경의 변화에 적응적으로 대처할 수 있는 학습 방법에 의해 복잡한 문제를 해결하는 새로운 패러다임이다. 대규모 병렬 처리, 많은 자유도, 비선형 특성, 및 적응 학습 등의 장점을 가진 신경회로망은 기존의 공학적 방법으로 해결하기 어려웠던 많은 응용분야들에 활발히 이용되고 있다.

제작된 센서 어레이로부터 얻어지는 신호를 다차원 입력 패턴으로 하여 우수한 인식기를 구현하기 위해 오차 역전파 학습 알고리즘을 이용하는 다층 구조 신경회로망을 이용하였다. 그림 4는 9개의 센서로 구성된 센서 어레이의 반응 감도를 입력으로 받아, 부탄, 프로판, 메탄의 세 가지 가스에 대해 각각 세 가지 농도를

분류하고 인식하기 위해 구현한 9개의 출력 노드를 갖는 다층 구조 신경회로망이다.

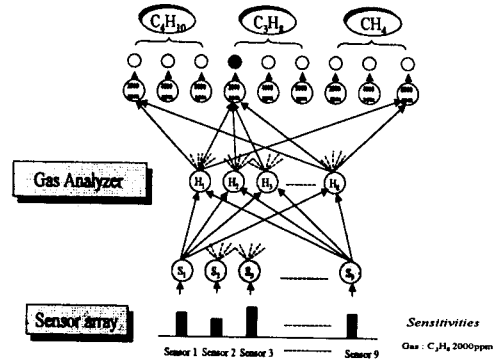


그림 4. 가스 인식 시스템을 위한 신경회로망 가스 패턴 인식기

Fig. 4 A multi-layer neural network for a gas recognition system

그림 4의 신경회로망은 한 개의 은닉층에 8개의 뉴런들을 사용하였고, 각각의 출력 노드들은 각각 9개의 특정 농도의 특정 가스에 대한 인식 결과를 출력한다. 그림 4에서는 프로판 2,000 ppm 가스에 대한 신경회로망의 인식 결과를 예로 보여 주고 있다. 즉, 프로판 2,000 ppm 가스에 대해 센서 어레이의 9개 가스 센서가 감지한 값이 신경회로망에 입력되면, 프로판 2,000 ppm 가스 감지 출력을 내는 역할을 하는 신경회로망의 4번째 출력 노드만이 On이 되고, 나머지 출력 노드들은 Off가 된다.

이 연구에서는 메탄, 프로판, 부탄 가스의 세 가지 농도 2,000 ppm, 4,000 ppm, 6,000 ppm에 대해 수행한 실험 데이터에서 3회의 실험 데이터를 가스 데이터 베이스로 구축하고, 이를 이용하여 신경회로망을 학습시켜 학습오차가 0.0001이 될 때까지 신경회로망 학습을 수행하였다. 그림 5는 신경회로망의 학습 과정에서의 오차를 보여주는 그래프이다.

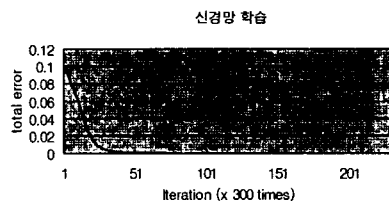


그림 5. 신경회로망 학습 예리 변화 그래프
Fig. 5 The change of total error with learning process by neural network

그림 5의 오차 그래프에서 보는 것처럼 오차가 급격히 감소하여 안정화되는 것으로 볼 때 본 연구에서 구현한 신경회로망이 메탄, 프로판, 부탄 가스 인식 문제의 복잡도에 적합하다고 할 수 있다. 학습 종료 후 구현한 가스 인식 신경회로망은 학습에 이용된 데이터에 대해 100 %의 인식률을 보였다. 한편, 신경회로망에 대한 검증 데이터를 위해 학습에 이용된 데이터에 임의로 ±5 %의 오차를 발생시킨 데이터를 생성하여, 이를 이용하여 테스트한 결과 구현한 신경회로망은 99 % 이상의 인식률을 보였다.

2.3 DSP 보드를 이용한 가스인식 시스템 하드웨어 제작

그림 6은 가스 센서 어레이로부터의 입력을 하나의 다차원 패턴으로 보고, 패턴 인식 기법을 이용하여 가스의 종류와 농도를 실시간으로 인식할 수 있는 가스 인식 시스템 하드웨어 구성의 개략도이다.

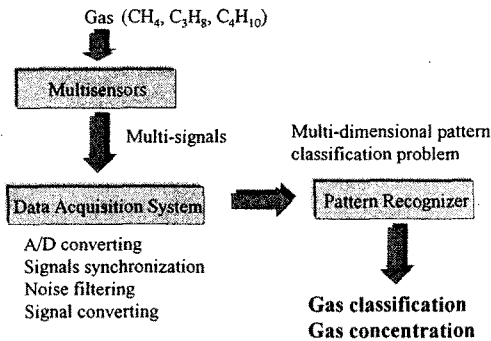


그림 6. 가스 인식 시스템의 구성
Fig. 6 Gas recognition system

9개의 후막형 반도체식 가스 센서로 구성된 다중 가스 센서 어레이로부터 가스에 대한 각 센서의 반응 신호를 획득하는 데이터 획득 시스템은 각 센서의 반응 신호를 디지털 신호로 변환하기 위한 A/D변환기, 신호 동기화기, 및 잡음 제거 회로들로 구성된다. 잡음이 제거된 디지털 신호를 패턴 인식기의 입력으로 사용하고, 출력으로는 특정 가스 종류와 농도를 나타낼 수 있도록 구성하였다. 다차원 패턴 인식기는 복잡한 패턴의 분류 및 인식에 우수한 성능을 주는 신경회로망을 이용하여 구현되었으므로, 이를 적절히 포함할 수 있는 마이크로프로세서를 선택해야 한다. 80196 MPU

는 비교적 저가로 많이 이용되지만, 신경회로망을 이용하는 데 포함되어야 하는 비선형 시그모이드 함수 구현이나 지수함수 연산 등을 표현하는 데에 한계가 있다. 따라서, 이 연구에서는 우선 DSP칩을 이용한 보드를 패턴 인식기를 위한 신경회로망의 하드웨어 구현에 이용하였다. 그림 7은 DSP 보드를 이용한 가스 인식 시스템의 하드웨어 구성을 나타낸다.

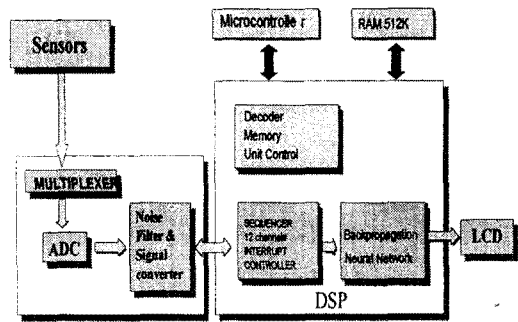


그림 7. 제안한 폭발성 가스 인식 시스템의 구조
Fig. 7 Schematic diagram of the proposed gas recognition system for explosive gases

센서 감응 데이터 획득부는 다차원 신호를 순차적으로 DSP 보드에 전달하는 아날로그 멀티플렉서와 잡음 처리를 위한 필터, 그리고 레벨 이동을 위한 신호 변환기 등으로 구성되었다. 오차 역전과 학습 알고리즘에 의해 학습된 신경회로망의 연결 강도는 DSP 보드의 메모리에 저장되어 있고, 입력된 신호에 대한 신경회로망의 출력 신호가 실시간으로 계산되어 인식된 특정 가스의 농도를 LCD에 표현하도록 구성되었다. 제작된 시스템의 실제 모습은 그림 8에 나타내어져 있다.

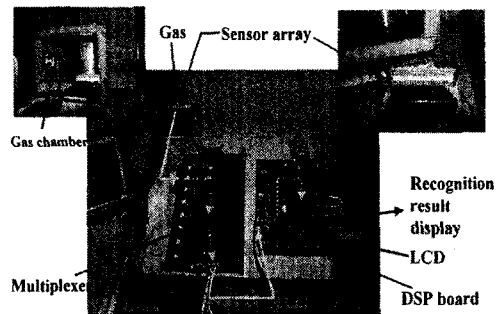
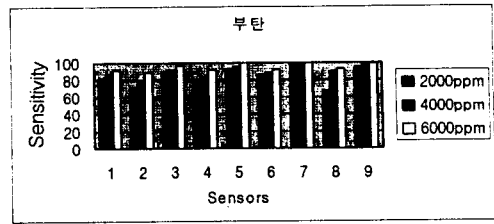


그림 8. 하드웨어 구현 폭발성 가스 인식 시스템
Fig. 8 The explosive gas recognition system

III. 실험 및 고찰

제작된 가스 인식 시스템은 메탄, 프로판, 부탄 등 세 가지 가스 각각에 대해 2,000 ppm, 4,000 ppm, 6,000 ppm 등 세 가지 농도를 분류하고 인식하는 시스템이다. 그림 9는 2,000 ppm, 4,000 ppm, 6,000 ppm 농도의 메탄, 프로판, 부탄 가스에 대한 가스 센서 어레이를 구성하는 9개 센서의 반응 감도를 나타낸다. 그림 10은 신경회로망을 이용하여 구현한 가스 인식 시스템의 부탄 가스 2,000 ppm, 프로판 가스 4,000 ppm, 메탄 가스 6,000 ppm에 대한 인식 결과를 예로 보이고 있다. 그림 10에서 좌측의 그래프는 가스 주입 시 센서 어레이의 9개 센서가 주입된 가스에 반응하는 감도를 나타내고, 우측의 그래프는 주입된 가스에 대한 센서 어레이의 반응 감도가 가스 인식 시스템 신경회로망에 입력될 때 주입된 가스에 대한 인식 결과가 신경회로망의 출력 노드 값으로 나타나는 것을 보여준다. 그림 10의 우측 그래프에 보이는 신경회로망의 출력 결과는 인식 대상인 특정 농도의 특정 가스에 대한 인식 결과를 출력하는 출력 노드의 출력 값 만 1에 가깝고, 나머지 출력 노드의 값은 거의 0에 가까운 값을 출력하고 있어 인식이 정확하게 이루어지고 있음을 알 수 있다. 그림 10에서 보는 바와 같이, 제안하는 폭발성 가스 인식 시스템은 특정 농도의 특정 가스에 대해 만족할 만한 인식 결과를 보여준다.

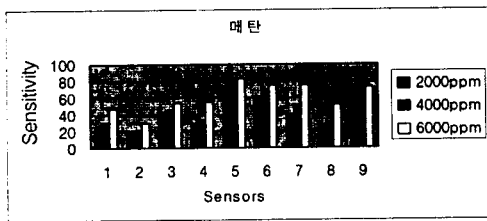


(c)

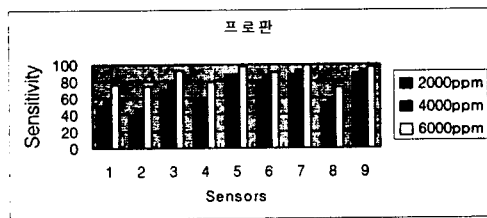
그림 9. 폭발성 가스에 대한 센서 어레이 반응 감도 :
 (a) 메탄 2,000 ppm, 4,000 ppm, 6,000 ppm
 (b) 프로판 2,000 ppm, 4,000 ppm, 6,000 ppm
 (c) 부탄 2,000 ppm, 4,000 ppm, 6,000 ppm

Fig. 9 Sensitivities of nine sensors-array for three explosive gases :

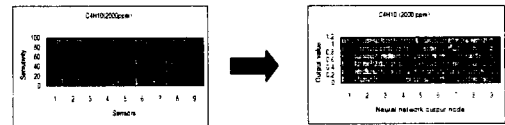
- (a) methane 2,000 ppm, 4,000 ppm, 6,000 ppm
- (b) propane 2,000 ppm, 4,000 ppm, 6,000 ppm
- (c) butane 2,000 ppm, 4,000 ppm, 6,000 ppm



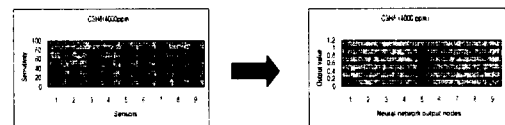
(a)



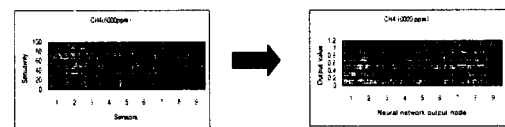
(b)



(a)



(b)



(c)

그림 10. 구현한 가스인식시스템의 폭발성가스인식결과
 (a) 부탄 2,000 ppm 인식결과 (b) 프로판 4,000 ppm 인식결과 (c) 메탄 6,000 ppm 인식결과

Fig. 10 Results of the implemented gas recognition system for explosive gases

- (a) butane 2,000 ppm
- (b) propane 4,000 ppm
- (c) methane 6,000 ppm

IV. 결 론

9개의 후막형 반도체식 가스 센서로 구현된 가스 센서 어레이와 신경회로망을 이용하여 메탄, 프로판, 부탄 등의 폭발성 가스를 분류하고 인식하는 지능형 가스 인식 시스템을 DSP 보드를 이용하여 하드웨어로 구현하였다. 구현한 시스템은 메탄, 프로판, 부탄 각각에 대해 세 가지 농도를 실시간으로 정확하게 인식할 수 있음을 보였다.

향후, 각각의 가스에 대한 연속적인 농도를 인식할 수 있고, 혼합된 상태의 가스에 대해서 가스의 종류와 농도를 인식할 수 있는 시스템으로의 발전이 필요하다. 한편, 온도와 습도 등 주변환경의 변화에 적응적인 시스템 구현을 위해 센서 융합(fusion)에 대한 연구와 보다 소형화된 하드웨어 구현 연구를 통해 폭발성 가스 누출이 의심되는 산업 현장이나 도시 가스 배관 등에 장착되어 가스 누출을 실시간으로 정확하게 인식할 수 있는 시스템으로의 구현이 가능할 것으로 기대된다.

이 연구는 과학기술부 인위재해 방재기술 개발 사업 연구비(98/ND/06/02/A/01)지원에 의하여 수행되었음.

참 고 문 헌

[1] B. Yea, R. Konishi, T. Osaki, and K. Sugahara, "The discrimination of many kinds of odor species using fuzzy reasoning and neural networks," *Sensors and Actuators A*, 45, pp. 159-165, 1994.

[2] J. W. Gardner, "A brief history of electronic noses," *Sensors and Actuators B*, 18-19, pp. 211-220, 1994.

[3] C. D. Natale, F. Davide, and A. D'Amico, "Pattern recognition in gas sensing : well-stated techniques and advances," *Sensors and Actuators B*, 23, pp. 111-118, 1995.

[4] E. L. Hines and J. W. Gardner, "An artificial neural emulator for an odour sensor array," *Sensors and Actuators B*, 18-19, pp. 661-664, 1994.

[5] C. D. Natale, F. A. M. Davide, A. D'Amico, P. Nelli, S. Groppelli, and G. Sberveglieri, "An electronic nose for the recognition of the vineyard of a red wine," *Sensors and Actuators B*, 33, pp. 83-88, 1996.

[6] J. Getino, J. Gutierrez, L. Ares, J. I. Robla, M. C. Horrillo, I. Sayago, and J.A. Agapito, "Integrated sensor array for gas analysis in combustion atmospheres," *Sensors and Actuators B*, 33, pp. 128-133, 1996.

[7] G. Faglia, F. Bicelli, G. Sberveglieri, P. Maffezzoni, and P. Gubian, "Identification and quantification of methane and ethyl alcohol in an environment at variable humidity by an hybrid array," *Sensors and Actuators B*, 44, pp. 517-520, 1997.

[8] C. D. Natale, A. Macagnano, F. Davide, A. D'Amico, R. Paolesse, T. Boschi, M. Faccio, and G. Ferri, "An electronic nose for food analysis," *Sensors and Actuators B*, 44, pp. 521-526, 1997.

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

[10] E. Oja, "A simplified neuron model as a principal component analyzer," *Journal of Mathematical Biology*, 15, pp. 267-273, 1982.

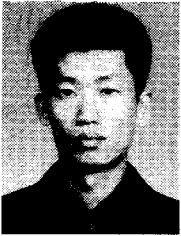
[11] S. Haykin, *Neural networks*, Macmillan College Publishing Company, 1994.

 著 者 紹 介

**반 상 우 (潘 尙 佑)**

1969년 10월 31일생.
 1992년 경북대학교 컴퓨터과학과 졸업 (이학사). 1995년 경북대학교 대학원 컴퓨터과학과 졸업 (이학석사). 1995년~현재 경북대학교 센서기술연구소 연구원.

주관심분야 : 신경회로망, 지능형 센서 시스템 및 응용

**조 준 기 (趙 俊 基)**

1970년 9월 6일생.
 1997년 부경대학교 제어계측공학과 졸업(공학사). 1997년 (주)화인 메카트로닉스 연구개발부 근무, 1998년 경북대학교 센서기술연구소 연구원, 1999~현재 경북대학교

대학원 센서공학과 석사과정.

주관심분야 : 신경회로망, 능동시각시스템, 센서시스템

이 민 호

『센서학회지 제8권 제1호』 논문 99-8-1-07, p.52 참조
 현재 경북대학교 센서기술연구소 센서공학과 전임강사

이 대 식

『센서학회지 제4권 제4호』 논문 95-4-4-03, p.16 참조
 현재 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정

**정 호 용 (鄭 昊 勇)**

1970년생.
 1999년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사), 1999년~현재 경북대학교 전자공학과 석사과정, 주관심분야: 반도체 가스센서 및 센서 어레이

허 중 수

『센서학회지 제4권 제4호』 논문 95-4-4-12, p.87 참조
 현재 경북대학교 금속공학과 조교수

이 덕 동

『센서학회지 제1권 제1호』 논문 92-14, p.123 참조
 현재 경북대학교 전자전기공학부 교수