

금속 산화물 센서 이용한 VOC의 측정에 관한 연구

김동진*, 정영창*, 홍철호*, 주민식**
 호서대학교 전기정보통신공학부*, (주)제니스테크 기술연구소**

The study of measure the VOC using MOS Sensor

Kim Dong Jin*, Jung Young Chang*, Hong Chul Ho*, Joo Min Sik**
 Hoseo University*, Zenith Tech R&D Center**

Abstract - 현재 산업화 사회가 가속됨에 따라 인체에 유해한 물질들이 발생한다. 그 중에서 VOC(Volatile Organic Component)는 인체에 치명적인 해를 일으키는 물질이다. 본 논문은 MOS(Metal Oxide Semiconductor) 센서를 이용하여 인체에 치명적인 유해 물질인 VOC를 측정하였다. 현재 VOC의 측정은 GC(Gas Chromatograph)를 이용하는데 이는 측정 시간이 길며 숙련된 측정자에 의해서만 측정이 가능하고 그 분석이 가능하다. 그러나 MOS 센서를 이용하면 숙련되지 않은 측정자도 측정이 가능하며 인공지능영역을 이용하여 그 분석을 함으로써 누구나 쉽게 분석이 가능하고 실시간으로 측정이 가능하다.

1. 서 론

인간은 오감을 이용하여 사물을 감지하고 상황을 대처한다. 즉 인간은 눈으로 사물을 보고 머리로 생각을 하여 그 사물이 무엇인지를 인식하고 코로 냄새를 맡아 무슨 냄새인지를 감지하는 등의 연속적인 과정을 통해서 지식을 얻는다. 현재 이러한 인간의 오감을 컴퓨터에 부가하여 인간과 컴퓨터 사이의 자연스러운 인터페이스를 위해 많은 연구가 진행되고 있다.

본 논문에서는 이러한 인간의 오감 중 후각을 응용한 MOS 센서를 이용하여 VOC 측정 장비를 설계하고 구현하였다. MOS 센서는 대기과 작업환경에서 존재하는 각종의 가스의 농도를 전기적인 신호로 변환시킬 수 있는 소자로 감지속도가 빠르고 경제적이며 적당한 물질을 첨가함으로써 특정가스에 대한 선택성의 부여가 가능하다는 장점이 있으며, 특히 GC를 이용하여 가스의 농도를 측정하는 방법에 비해 우수한 장점을 가지고 있다.

2. 본 론

2.1 MOS Sensor

MOS 센서의 외형에 따라 크게 벌크(bulk)형, 후막(thick film)형, 박막(thin film)형으로 나뉘어 지는데 벌크형은 기판 없이 성형하여 소성 함으로서 제작된다. 히터는 주로 선(line)형태의 발열체를 분말 내부에 위치시키고 성형함으로서 제작하며, 후막과 박막은 실리콘웨이퍼, glass, 알루미늄나 등의 기판 위에 후막의 경우에서 수~수십 μ m 박막의 경우에는 수~수십nm범위로 막을 형성함으로서 제작한다.

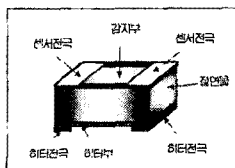


그림 1. 센서 구조



그림 2. MOS 센서

본 논문에서는 SnO₂계열 MOS 센서로 감지 가스의 농도가 증가할 때 센서 표면에 흡착된 산소를 탈착시켜 전기 전도 도를 낮춘다.

그림 3과 4는 센서의 감지 부에 산소가 흡착되고 감지가스에 의해 흡착된 산소를 탈착시키는 것을 도식하였다. 센서 감지 부에 산소가 흡착된다는 것은 센서내부의 전기 전도 도를 낮추어 전자의 흐름을 방해하는 전위장벽을 높이게 된다. 또한 감지 가스가 들어올 때 센서 표면에 흡착된 산소가 탈착됨으로 센서 내부의 전기 전도도를 증가된다. 이때 산소가 흡착되고 탈착 되었을 때 센서 내부의 전기 전도도의 차이가 가스의 농도 변화량이다.

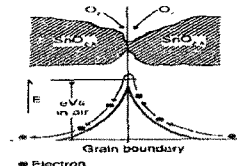


그림 3. 산소 흡착 상태

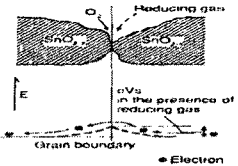
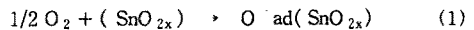


그림 4. 가스 감지 상태



센서의 감지 부에서 감지된 가스의 농도는 센서의 저항으로 출력되는데 이때 센서의 저항과 농도는 지수 함수적인 비례관계를 나타낸다.

$$R_s = A [C]^n \quad (3)$$

where : R_s - 센서 저항,
 A - 상수,
 $[C]$ - 가스농도,
 n - R_s 곡선의 기울기

2.2 센서 어레이

MOS 센서는 특정한 가스에 대해 선택성이 부여가 가능하나 반도체 재료 공학적인 요건에 의해 아직 까지 완벽하고 완전한 선택성을 가지지 못한다. 따라서 본 논문에서는 센서 어레이를 사용하여 10개의 센서를 사용하여 패턴을 만들고 그 패턴을 인공지능영역 알고리즘을 이용하여 VOC가스를 측정하였다.



그림 5. 제작된 센서 Array

그림 5에 제작된 센서 array를 보여주었다. 센서 array는 가스 및 공기의 흐름을 단순하게 하기 위하여 센서 어레이 내부의 가스의 통로를 직선으로 하였고, 통로의 주변에 센서를 위치하도록 제작하였다.

2.3. 인공신경망

인공 신경망의 구조는 입력층, 은닉층, 출력층으로 이루어져 있다. 이들은 처리 요소들을 모아 층을 이루고 있다. 처리 요소는 활성화 함수라고 할 수 있는데 이것은 두 부분으로 이루어져 있다. 우선 첫 번째 부분은 여러 다른 처리 요소들로부터 입력을 받아들여 연결 가중치(Connection Weight)를 사용하여 순 입력 값을 계산한다. 이것은 결합 함수에 의해 이루어진다. 두 번째 활성화 단계는 전이 함수에 의해 실행되는데 이는 가중치를 고려한 입력 값을 전이 함수를 이용하여 출력 값으로 변환하는 것이다. 전이 함수로서 고려할 수 있는 함수는 선형 함수, Sigmoid 함수, Hyperbolic tangent 함수 등이다. 선형 함수는 선형 회귀에서 사용하는 것과 비슷한 경우이고 후자들은 비선형 함수로서 결과가 비선형적 성격을 띠고 있다.

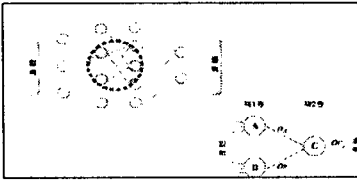


그림 6. 인공신경망 구조

신경 회로망의 각 처리 요소들의 출력 값들은 신경 회로망의 출력 결과를 결정하게 되므로 신경 회로망을 이용하여 원하는 출력 값을 얻기 위해서는 연결 가중치를 조절해야 한다. 모든 신경 회로망은 주어진 자료들을 이용하여 처리 요소들 간의 연결 가중치를 스스로 조정하게 되는데 이 과정을 학습이라 한다.

학습 방법의 가장 기본적인 분류는 지도 학습과 자율 학습이다. 지도학습은 각 입력 값에 대해 원하는 목표 출력 값(Target Output)을 대응시켜 학습시키는데 반하여 자율학습은 목표 출력 값이 학습 자료에 주어지지 않는 것으로 주어진 입력 패턴 자체를 기억시키거나 유사한 패턴들을 군집화(Clustering) 시키는 데 많이 이용된다.

2.4 실험

2.4.1 구현된 하드웨어

그림 7은 제작된 측정기이다.

센서 array를 통해 들어온 가스에 반응한 센서의 신호를 측정하여 측정된 신호를 컴퓨터에 전송하여 인공신경망알고리즘을 이용해 가스의 농도를 측정한다.

센서는 감지 가스의 유무에 따라 전기전도도가 변하는데 이는 식 (3)과 같이 저항으로 출력된다. 이를 전압으로 변환하고 변환된 전압을 다시 주파수로 변환하여 컴퓨터로 전송한다.

$$F = \frac{V_{in}}{2.09} \cdot \frac{R_s}{R_L} \cdot \frac{1}{R_i C_i} \quad (4)$$

제작된 측정기에 설정된 값은 센서의 출력 전압이 1V 일 때 2.029kHz정도가 되며 센서 출력 전압이 5V 일 때 10.149kHz가 된다. Ideal 한 경우 0V~5V 출력시 0 ~ 10kHz의 범위에 동작하게 되므로 AD 변환기를 사용하지 않고 높은 분해능(약13bit)을 얻을 수 있었다.

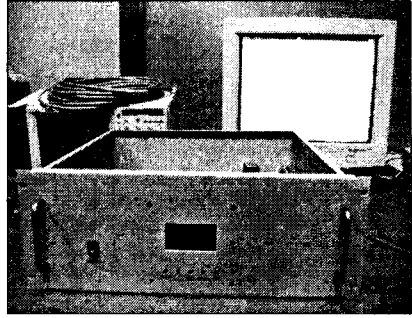


그림 7. 제작된 측정기

2.4.2 데이터 모델링

일반적인 대기는 질소를 가장 많은 비율로 산소 및 아르곤 등, 기타 많은 다른 가스들로 조합이 된 혼합물 형태의 가스 상태이다. 이러한 대기는 혼합형 가스로 모델링 될 수가 있으며 이러한 혼합 가스들 중에서 VOC 계열 3가지 가스인 벤젠, 톨루엔, 자일렌 가스를 분석하였다.

$$Y_{GAS} = B_{PPM} + T_{PPM} + X_{PPM} + O_2 + N_2 + Noise \quad (5)$$

이렇게 수식화 된 형태를 실험을 통하여 데이터를 얻어내는 동시에 실험을 통하여 얻어진 데이터를 가상적으로 생성을 하고, 가상적으로 생성해낸 데이터를 어떠한 입력 형태로 구성을 해야 추론 및 분석을 하는데 있어서 적합한 구조인지를 파악하였다. 각각에 사용된 테스트 수행에 대한 data base의 적합도는 표준가스의 실험과 인공지능 학습률에 비례하여 평가하였다.

2.4 실험결과

표준 가스를 이용하여 얻어진 data base를 이용하여 아래와 같은 parameter를 사용하여 인공 신경망 학습을 수행하였다.

Nodes = 10 layer Number = 4.
Weights = -2, 2 Alpha = 0.950
Eta = 1.05 Gain = 1.1

표 1. Benzene 학습결과

(단위:ppm)			
농도	Benzene	Toluene	xylene
0	0.0001	0.0010	0.4559
6	5.3370	0.6564	0.1605
13	13.9383	0.1920	0.1952
51	52.5999	0.0354	0.2407
103	105.8519	0.0141	0.2653
250	253.5164	0.0039	0.3055
500	503.1568	0.0023	0.3177
1000	999.4508	0.3650	0.3237

표 2. Toluene 학습결과

[단위:ppm]			
농도	Benzene	Toluene	xylene
0	0.0018	0.8283	0.0045
5	0.0095	7.9444	0.0000
10	0.0086	6.8432	0.0001
50	0.1568	48.0926	0.0549
100	0.0500	99.8818	0.0173
250	0.0266	251.0087	0.1189
500	0.0208	503.357	0.1427
1000	0.1904	999.4675	0.6788

표 3. Xylene 학습결과

[단위:ppm]			
농도	Benzene	Toluene	xylene
0	0.0022	0	0.001
5	0	0.0004	0.7851
10	0	0.0001	8.7137
50	0	0	46.0726
100	0	0.4042	98.9892
250	0	0	250.9199
500	0	0	501.6298
1000	0	0	999.444

이렇게 표준 가스에 의해 학습되어 수행된 결과는 실제 실험지와 수치적으로 비슷한 결과를 보여주고 있으며 이를 기본 데이터로 하여 제작된 측정기에 이식하여 각 ppm 별로 가스를 투입하여 실험을 수행하였다.

벤젠, 톨루엔, 자이렌에 대해서 테스트 실험을 수행하였으며 이에 대한 결과는 아래와 같다.

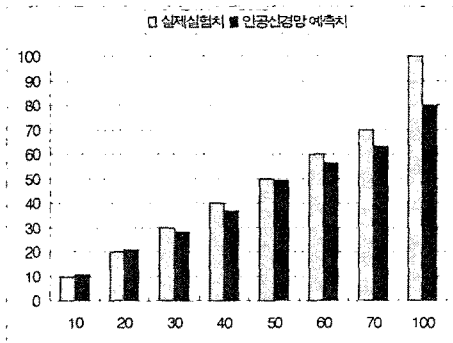


그림 8. Benzene 측정 결과

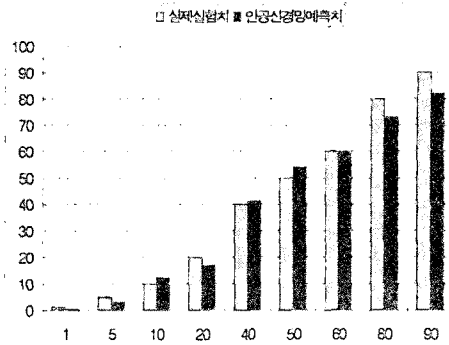


그림 9. Toluene 측정 결과

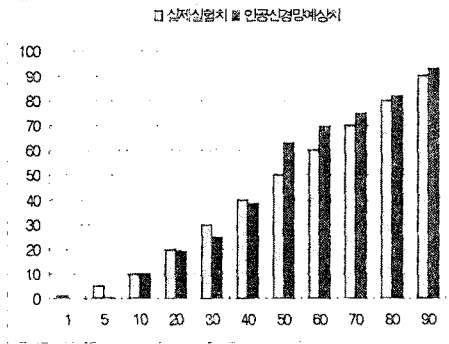


그림 10. Xylene 측정결과

3. 결 론

MOS 센서는 감지 막이 흡입된 가스와 반응하여 전기전도도의 변화를 보이는 현상을 이용한다. 전기전도도의 변화는 센서의 저항을 변화시켜 가스 농도에 따라 저항의 변화를 측정하는 측정기를 구현하였다. MOS 센서는 단일 가스에 대해 특정한 반응을 보이는 선택성이 부족하여 이를 보완하기 위해 센서 array를 사용하고 패턴을 형성시켜 인공신경망 알고리즘을 이용하여 가스를 분석하였다. 가스 중 Benzene, Toluene, Xylene 3가지의 가스에 대해서 실험을 한 결과 10ppm이상의 농도에서는 비교적 정확한 농도를 측정할 수 있었다.

MOS 센서를 이용하여 VOC를 측정하는 것은 GC를 이용하는 것 보다 쉽고 빠르게 결과를 얻을 수 있다. 하지만 보다 안정적이고 정확한 결과를 얻기 위해서는 많은 실험을 통해 많은 data base를 획득해야만 하는 문제점을 안고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 좀더 많은 실험과 data base의 구축이 필요하다.

[참 고 문 헌]

- [1] Michael T, "Health Scientific Computing", An Introductory survey.
- [2] Joseph J. Chrr, Sensors and Circuits, Prentice Hall, 1993
- [3] 박정식, 윤영선, "현대 통계학", 다산출판사.
- [4] William H.Press, Saul A. Teukolsky, Willam T. Vetterling, Brian P. Flannery, "Numerical Recipes in C", Cambridge University press.
- [5] 이상원, "학습하는 기계신경망", Ohm, 1993
- [6] 주병수, "가스센서어레이의 임피던스특성을 이용한 패턴인식" 경북대 학위논문, 1999