

# 가스센서 어레이를 이용한 악취 패턴분석에 대한 연구

최장식<sup>1</sup> · 전진영<sup>2</sup> · 변형기<sup>2</sup> · 임해진<sup>2,\*</sup>

## A Study on Malodor Pattern Analysis Using Gas Sensor Array

Jang-Sik Choi<sup>1</sup>, Jin-Young Jeon<sup>2</sup>, Hyung-Gi Byun<sup>2</sup>, and Hea-Jin Lim<sup>2,\*</sup>

### Abstract

This paper presents to analyze patterns from single and complex malodors using gas sensor array based on metal oxide semi-conductors. The aim of research is to identify and discriminate single malodors such as NH<sub>3</sub>, CH<sub>3</sub>SH and H<sub>2</sub>S and their mixtures according to concentration levels. Measurement system for analyzing patterns from malodors is constructed by an array of metal oxide semiconductor sensors which are available commercially together with associate electronics. The patterns from sensory system are analyzed by Principal Component Analysis (PCA) which is simple statistical pattern recognition technique. Throughout the experimental trails, we confirmed the experimental procedure for measurement system such as sensors calibration time and gas flow rate, and discriminated malodors using pattern analysis technique.

**Keywords :** Gas sensor array, Complex malodor, Odor classification, Mixture gas discrimination

### 1. 서론

악취란 황화수소, 메르캅탄류, 아민류, 그 밖에 자극성 있는 기체 상태의 물질이 사람의 후각을 자극하여 불쾌감과 혐오감을 주는 냄새를 말하며, 두 가지 이상의 악취물질이 함께 작용하여 나는 냄새를 복합악취라고 한다.

악취는 유기성 폐자원이 발생했을 경우 병원성, 부패성 종속영양 미생물이 활성화되어 환원형의 질소 및 황화물인 악취물질이 생산되어 발생하게 된다.

악취를 측정하는 방법에는 관능적 평가 기법인 후각시험법과 검지관, 악취센서, 물질별 측정 장비를 활용하는 기기 분석법이 있다 [1].

악취센서는 반도체센서와 바이오센서로 나뉘며, 광(fiber optic) 센서, QCM(Quartz Crystal Microbalance) 센서, 가스센서 등을

활용하는 연구들이 진행되고 있다.

광센서는 악취가스에 따라 광센서 이미징데이터가 변화한다. 관련 연구 [2]에서는 악취가스 판별을 위해 광센서 어레이를 구현하고 실험하였다. 이 연구에서는 광센서 어레이를 통해 악취가스를 구별할 수 있었으나 400 ppm이상의 아세톤(acetone)과 톨루엔(toluene) 등 고농도의 악취가스들을 사용하였다. 악취는 낮은 농도에서도 감지가 가능하며 아세톤의 경우 최소감지농도가 42 ppm이고, 톨루엔은 0.33 ppm이다. 때문에 실제 환경에서 광센서를 활용하기 위해서는 광센서의 감도(sensitivity) 개선과 이에 따른 실험이 요구된다.

QCM(수정진동자) 센서는 변화하는 주파수를 이용하여 악취가스들의 패턴을 분석할 수 있다. QCM 센서를 활용해 단일악취가스를 분석한 연구에서는 악취가스를 판별할 수 있었으나 악취가스의 농도변화에 따라 QCM 센서가 비선형적인 응답을 나타냈다[3]. 악취가스의 농도변화에 따라 비선형적인 센서 신호는 동일한 악취가스임에도 불구하고 패턴분석시 다른 종류로 분류될 수 있다.

악취센서 어레이의 다차원 데이터를 분석하기 위해서는 차원 축소에 필요한 패턴인식 기법이 필요하다. 관련 연구 [4]에서는 가스센서 어레이의 데이터들을 취득하고, 분석하기 위한 패턴인식 알고리즘 설계와 검증을 하였다.

반도체가스센서는 반도체 표면에 기체분자가 흡착되면 전기저항이 변화하는 현상을 이용한다[5]. 반도체가스센서는 소형이고 비용이 저렴하며, 응답이 빠를 뿐만 아니라, 전기신호로서 가스농도를

<sup>1</sup>루키디아 기술연구개발부(Technology R&D Center, Lookidea Co.)  
360-1, Hyoga-dong, Donghae-si, Gangwon-do, 240-160, Korea  
<sup>2</sup>강원대학교 전자정보통신공학부(Division of Electronics, Information & Communication Engineering, Kangwon National University)  
5-Engineering Bldg., Kangwon National University, Joongang-ro Samcheok-si Gangwon-do, 245-711, Korea  
\*Corresponding author: lhjin@kangwon.ac.kr  
(Received : Jun. 13, 2013, Revised : Jul. 17, 2013, Accepted : Jul. 21, 2013)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

알아내는 이점이 있다.

하지만 반도체가스센서는 감도(sensitivity)와 선택성(selectivity) 측면에서 몇 가지 약점을 가지고 있기 때문에 반도체 가스센서의 장점을 유지하는 동시에 이 약점들을 보완하기 위해서는 그들이 요구하는 사항들을 만족하는 시스템을 설계해야 한다[6].

본 연구에서는 악취패턴분석을 위하여 반도체가스센서 어레이를 사용하였으며, 악취패턴분석 시스템을 설계하고 구현하였다. 실험에서 측정된 악취가스 데이터들은 PCA기법을 이용하여 패턴분석을 하였다.

## 2. 실험방법 및 절차

### 2.1 실험방법

악취패턴분석 시스템은 악취가스와 드라이에어(dry air)를 선택 제어하기 위한 솔레노이드밸브(solenoid valve)와 가스센서어레이 내부에 유량의 세기를 제어하기 위해 다이어프램(diaphragm) 정량 펌프를 사용하였으며, 가스센서어레이를 시스템 내부에 설치하였다.

다이어프램 정량펌프는 모터제어에 유리한 위상교정(phase correct) PWM(Pulse Width Modulation)방식으로 구동하여[7] 유량세기에 반도체가스센서가 받는 영향을 줄이고자 하였다.

가스센서어레이에는 FIGARO사의 TGS2600, TGS2602, TGS2610, TGS2611을 2개씩 사용하여[8] Fig. 1과 같이 가스챔버(gas chamber)에 연결하였다. 악취가스는 챔버의 Gas Flow 방향에 따라 흐르도록 설정하였다.

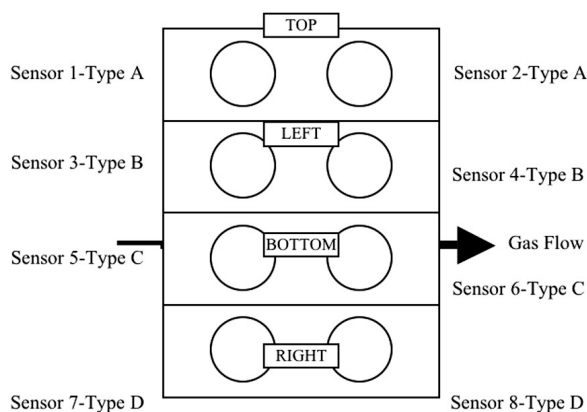


Fig. 1. Chamber for gas sensor array.

악취측정을 위해 악취패턴분석 시스템을 Fig. 2와 같이 구성했으며, MFC(Mass Flow Controller)를 사용하여 악취가스의 농도를 조절 하였다.

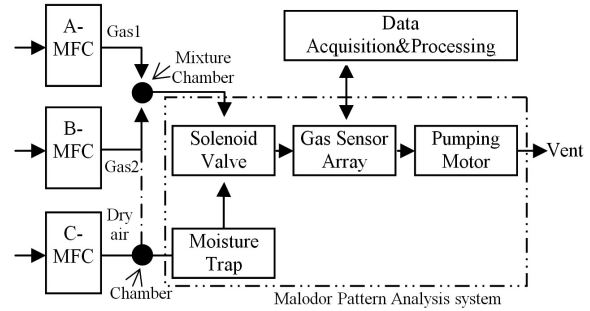


Fig. 2. Set up of malodor pattern analysis system.

A-MFC와 B-MFC에는 단일악취가스, C-MFC에는 습기가 제거된 드라이에어를 연결하였다. A-MFC와 B-MFC에 연결된 단일악취가스가 혼합될 수 있도록 Mixture Chamber에 연결하였으며, 드라이에어는 습기제거필터(moisture trap)를 걸쳐 솔레노이드 밸브에 연결하였다.

### 2.2 실험절차

반도체가스센서는 고농도의 악취가스가 연속적으로 공급될 때 가스센서 표면에 흡착되어 있던 산소이온 농도가 고갈되어 더 이상 악취가스와 반응할 수 없는 포화상태가 된다[9]. 악취패턴분석 시스템에서는 드라이에어를 사용하여 가스센서들이 포화상태가 되지 않도록 하였다.

악취가스는 암모니아(NH3), 메틸머캅탄(CH3SH), 황화수소(H2S)들을 사용했으며, 농도와 종류별로 각각 혼합하여 실험을 진행 하였다. 또한 신뢰성 있는 실험 데이터를 획득하기 위해 Table 1 과 같은 일련의 실험절차를 수행하였다.

Table 1. Experimental procedure

Step	Section	Description
1	Concentration setting	Set the gas concentration using MFC
2	Calibration	Gas sensor array calibration
3	Mixing gases	Gas mixing in mixture chamber
4	Measurement	Row data acquisition from gas sensor array
5	Recovery	Recovery for next experiment

Table 3과 4에 설정된 악취가스 측정을 위해 각 MFC에 악취가스를 연결하고, MFC readout 장비를 활용해 SCCM-(Standard Cubic Centimeter per Minutes) 값을 조정하여 악취가스 농도를 조절하였다.

가스센서는 주변환경이나 사용시간이 경과함에 따라 조금씩 특성이 변하기 때문에 신뢰성 있는 데이터를 획득하기 위해서는 교정

(calibration)작업이 필요하다[10]. 악취패턴분석 시스템은 가스센서 교정 알고리즘을 내장하고 있어 가스센서들의 기준선(baseline)을 교정 할 수 있다. 실험에서는 드라이에어를 사용하여 가스센서들의 기준선을 교정하였다.

가스센서들의 기준선 교정이 끝난 이후 Mixture Chamber 에 Gas1과 Gas2를 넣어 혼합되도록 하였다.

악취가스농도 설정과 가스센서들의 기준선 교정이 완료되고, 악취가스들이 충분히 혼합되었을 경우 가스센서어레이에 혼합된 악취가스를 유입하여 데이터를 취득하였다.

마지막으로 Mixture Chamber에 유입되는 악취가스를 차단하여 가스센서들이 회복되도록 하였다.

### 3. 실험 및 결과

#### 3.1 가스센서어레이

복합악취는 두 가지 이상의 악취물질이 혼합되어 있는 형태로 한 종류의 가스센서를 사용하는 것 보다는 목표 관련 가스검출특성을 가진 센서들을 선정하여 어레이로 구성하는 것이 유리하다.

실험에 사용된 가스센서구성은 Table 2와 같다.

Table 2. Specifications of the gas sensors

Sensor Type	Target Gases
TGS2600	Hydrogen
TGS2602	Toluene, Ethanol
TGS2610	Butane, LP gas
TGS2611	Mathane, Natural gas

#### 3.2 악취가스 설정

실험에 사용된 악취가스들은 Table 3과 Table 4와 같다.

단일악취가스 농도는 5단계로 구분하여 설정하였으며, 복합악취가스는 Table 4에 설정된 악취가스의 종류와 농도별로 2개씩 혼합하여 실험하였다.

Table 3. Single malodor gas (ppm)

	NH <sub>3</sub>	CH <sub>3</sub> SH	H <sub>2</sub> S
1	10	0.1	0.5
2	30	0.3	1
3	50	0.5	2
4	70	0.7	3
5	80	0.8	4

Table 4. Complex malodor gas (ppm)

		CH <sub>3</sub> SH	H <sub>2</sub> S
NH <sub>3</sub>	30	0.3	1.5
	40	0.4	2
	50	0.5	2.5

실험은 환경조건 변화에 따른 영향을 최소화 하기 위해 실험실 내부에서 진행하였으며, 악취패턴분석 시스템에 장착된 온도 센서와 팬(fan)을 사용하여 시스템 내부 온도를 항상 40℃로 유지 하였다.

#### 3.3 실험 및 데이터 취득

Table 1의 실험절차를 따라 실험을 진행했으며, 다음 수식을 적용하여 가스센서어레이 데이터를 실시간으로 취득 및 저장하였다.

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{R_{Gas} - R_{Air}}{R_{Air}} \quad (1)$$

1초 주기로 가스센서어레이 데이터와 시스템 내부의 온도, 습도 그리고 각 실험절차를 구분할 수 있는 상태변수를 하나의 레코드로 만들어 저장하였다.

패턴분석에서는 악취가스 주입 후 센서어레이가 포화 상태인 지점에서 5개의 데이터 레코드를 선택하여 사용하였다.

#### 3.4 실험 결과

측정된 패턴데이터들은 매트랩(matlab)을 활용하여 PCA 분석을 수행하였으며, 2차원 그래프로 표현하였다. 데이터들은 최고 고유값(eigen value)을 가지는 고유벡터(eigen vector) 2개를 취하여 제 1 주성분과 제 2 주성분으로 나타냈다.

PCA 패턴분석 결과는 악취가스의 농도와 종류 구분을 위해 마커(marker)들을 사용하여 표시하였다.

##### 3.1.1 단일악취가스 PCA

Fig. 3은 암모니아, 메틸머캅탄, 황화수소를 Table 3에 설정된 농도별로 실험하여 PCA 패턴분석을 한 결과이다. 마커들의 그룹들을 보면 오른쪽 하단에 암모니아, 왼쪽 하단에 황화수소, 왼쪽 상단에 메틸머캅탄이 구분되는 것을 확인할 수 있다.

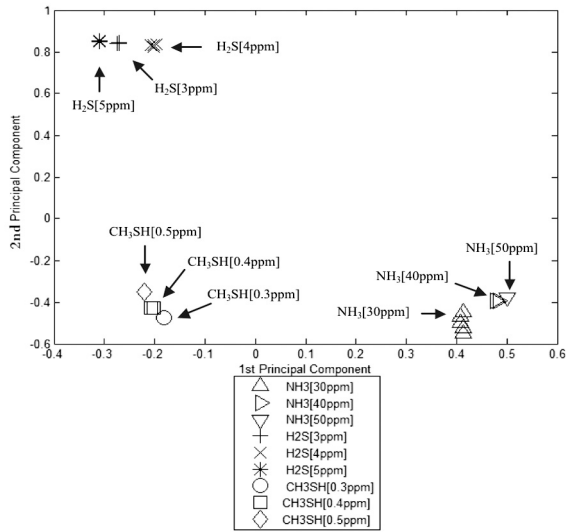


Fig. 3. PCA J of single malodor gases.

3.3.2 복합악취가스 PCA

Fig. 4는 메틸머캅탄 농도를 0.3 ppm에서 0.1 ppm씩 증가시킬 때 마다 30, 40, 50 ppm의 암모니아를 혼합하여 실험한 결과이다. 메틸머캅탄과 암모니아가 혼합되었을 경우 실험에 사용된 가스센서 어레이는 Fig. 4와 같은 패턴을 가지게 된다.

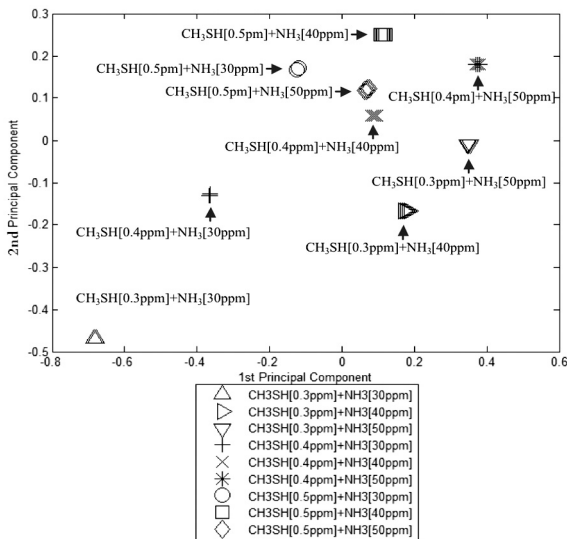


Fig. 4. PCA plot of mixed CH<sub>3</sub>SH and NH<sub>3</sub>.

Fig. 5는 황화수소 농도를 1.5 ppm에서 0.5 ppm씩 증가시킬 때 마다 0.3, 0.4, 0.5 ppm의 메틸머캅탄을 혼합하여 실험한 결과이다. 황화수소와 메틸머캅탄이 혼합되었을 경우 실험에 사용된 가스센서 어레이는 Fig. 5와 같은 패턴을 가지게 된다.

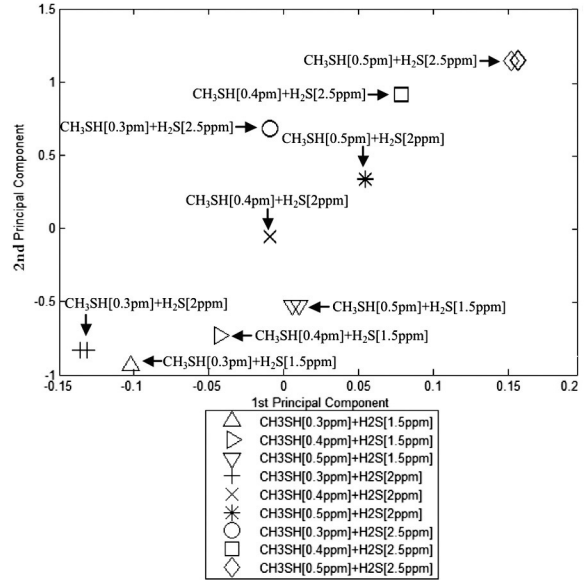


Fig. 5. PCA plot of mixed CH<sub>3</sub>SH and H<sub>2</sub>S.

Fig. 6는 황화수소 농도를 1.5 ppm에서 0.5 ppm씩 증가시킬 때 마다 30, 40, 50 ppm의 암모니아를 혼합하여 실험한 결과이다. 황화수소와 암모니아가 혼합되었을 경우 실험에 사용된 가스센서 어레이는 Fig. 6과 같은 패턴을 가지게 된다.

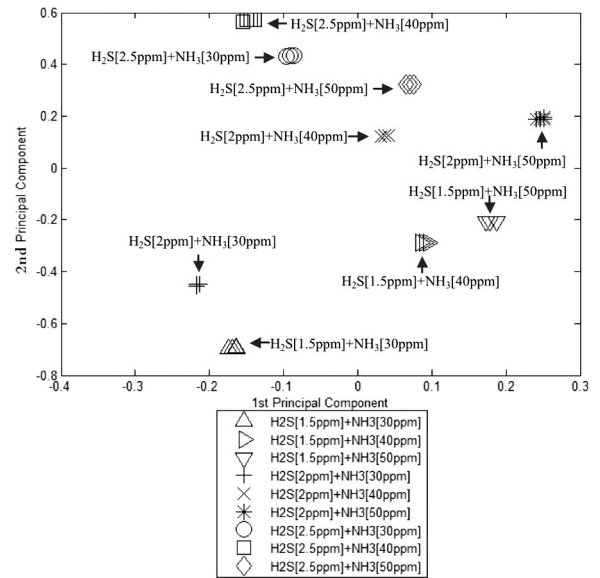


Fig. 6. PCA plot of mixed H<sub>2</sub>S and NH<sub>3</sub>.

3.3.3 단일 및 복합악취가스 PCA

Fig. 7은 실험에 사용된 모든 복합악취가스 데이터들을 PCA 패턴분석 한 결과이다. 메틸머캅탄과 황화수소가 혼합된 복합악취가

스패턴은 다른 복합악취가스패턴들과 구분되지만 암모니아와 황화수소 그리고 메틸머캅탄과 암모니아가 혼합된 복합악취가스패턴은 구분되지 않는다.

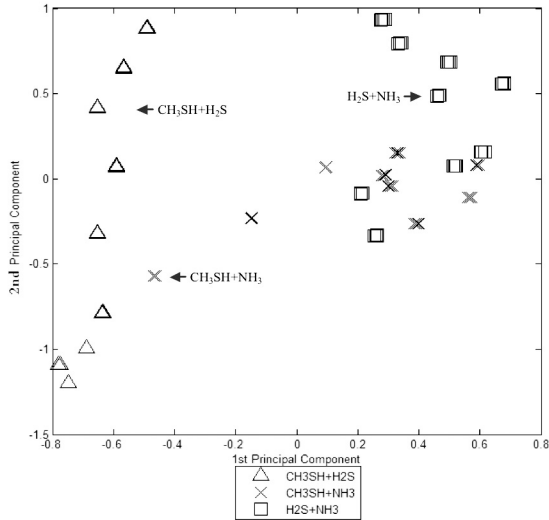


Fig. 7. PCA plot of each mixed malodor gas.

Fig. 8은 실험에 사용된 모든 악취가스들의 데이터를 PCA 패턴 분석 한 결과이다.

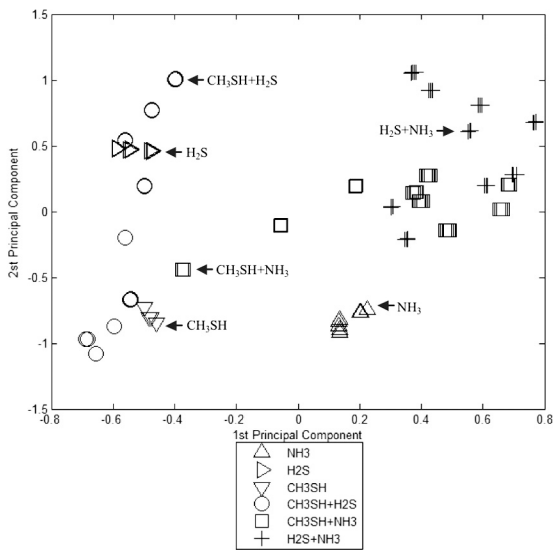


Fig. 8. PCA plot of all experimented gases.

메틸머캅탄과 황화수소가 혼합된 복합악취가스패턴은 혼합되는 단일악취가스패턴과의 연관성을 가지고 있다. 이와 같이 단일악취가스와 복합악취가스패턴들을 비교하였을 경우 혼합되는 단일악취가스들에 따라 복합악취가스패턴들이 영향을 받는 것을 확인할 수 있다.

### 4. 결론

악취패턴분석을 위해 가스센서어레이를 이용하여 악취가스 데이터를 분석하였다.

분석한 결과, 실험에 사용된 단일악취가스들의 경우 각각의 패턴이 구분되는 것을 확인할 수 있었다. 반면 복합악취가스의 경우 메틸머캅탄과 황화수소가 혼합된 가스는 패턴 구분이 가능했으나, 암모니아와 메틸머캅탄 그리고 암모니아와 황화수소를 혼합한 가스의 패턴은 정확하게 분류되지 않았다.

이와 같이 일부 복합악취가스의 패턴 구분이 어려운 원인은 가스센서의 안정화가 완전히 이루어지지 않은 상태에서 복합악취의 측정이 진행된 경우, 혹은 Mixture Chamber에서 2가지 악취가스가 충분히 혼합되지 않은 상태로 측정이 진행된 경우로 나누어 볼 수 있다. 또한 암모니아의 농도가 다른 가스들에 비해 높기 때문에 가스 혼합시 암모니아의 영향을 받았을 경우가 존재한다. 이는 실험 오차이며, 향후 실험을 통해 그 원인을 규명하고 개선하고자 한다.

악취는 지정악취와 복합악취로 나뉘며, 지정악취는 기기분석법을 통해 농도와 종류를 구별할 수 있다. 하지만 복합악취의 경우 2개 이상의 악취물질이 혼합되었기 때문에 희석배율(dilution ratio)로 평가한다. 현재 악취 측정 시스템은 희석배율과 악취세기를 표시할 수 있지만 현장에서 발생하는 냄새가 방향(芳香)인지 취기(臭氣)인지 구분할 수 없다. 본 연구에서의 복합악취 및 단일악취 패턴분석에 대한 데이터베이스확보와 신뢰성이 향상되어 갈 경우 악취 측정 시스템뿐만 아니라 악취판별이 필요한 분야의 자료로 활용될 수 있다.

향후 신뢰도 높은 악취패턴분석을 위해 악취발생현장의 시료채취 및 패턴분석과 지속적인 단일악취가스의 혼합 실험을 통해 데이터베이스를 축적해야 하며, 악취패턴분석 시스템의 유량과 유속 제어, 그리고 향온과 향습 등 가스센서어레이의 안정화를 위한 대책을 연구해야 한다.

### REFERENCES

[1] <http://www.krcc.or.kr/> (retrieved on Mar. 25, 2013).  
 [2] Keith J. Albert, David R. Walt, Daljeet S. Gill, and Tim C. Pearce, "Optical multi-bead arrays for simple and complex odor discrimination", *Anal. Chem.*, Vol. 73, No. 11, pp. 2501-2508, 2001.  
 [3] A. S. Yuwono and P. S. Lammers, "Performance test of a sensor array-based odor detection instrument", *Journal of Science and Research Development*, Vol. 3, pp. 9-25, 2004.  
 [4] E. G. Kim, S. O. Lee, J. H. Kim, C. K. Kim, Y. T.



- Byun, H. S. Kim, and T. J. Lee, "Pattern recognition for selective odor detection with gas sensor arrays", *Sensors*, Vol. 12, pp. 16262-16273, 2012.
- [5] M. Siegel, "Olfaction metal oxide semiconductor gas sensors and neural networks", *In Traditional and Non-Traditional Robotic Sensors*, Springer-Verlag, Berlin, vol. F63 of NATO ASI Series, pp. 143-157, 1990.
- [6] A. Vergara, S. Vembu, T. Ayhan, M. A Ryan, M. L. Homer, and R. Huerta, "Chemical gas sensor drift compensation using classifier ensembles", *Sens. Actuator B-Chem.*, Vol. 166-167, pp. 320-329, 2012.
- [7] B. K. Song, *AVR ATmega16 micro-controller using C language*, Sungandang, Republic of Korea, pp 173-177, 2008.
- [8] <http://www.figaro-gas-sensor.fr/> (retrieved on Nov. 21, 2012).
- [9] S. T. Kim, J. J. Lim, S. H. Park, and Y. J. Jo, *The study on improvement of the fatigue phenomenon of odor gas sensor*, Korean Society of Odor Research and Engineering fall Symposium, pp. 192~195, 2012.
- [10] J. Chou, *Hazardous Gas Monitors : A Practical Guide to Selection, Operation and Applications. Chapter 11 Gas Sensor Calibration*, McGraw-Hill and SciTech Publishing, Mendham, NJ, October, pp. 161-173, 1999.