

# 가스 센서모듈 및 센서보정시스템 개발

## (Development of Gas Sensor Modules and Sensor Calibration Systems)

박철영\*, 임병훈\*\*, 류정탁\*\*\*

(Cheol-Young Park, Byung-Hun Lim and Jeong-Tak Ryu)

**요약** 센서는 센서네트워크와 같은 다양한 센서시스템에 응용되고 있는 핵심부품이다. 그러나 센서는 온도에 따른 출력특성과 비선형성을 가지기 때문에 개발이 쉽지 않다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 센서의 보정과정의 필요 하지만 현재의 센서보정과정에서는 많은 보정시간과 비용을 요구하고 있다. 그러므로 보정시간과 비용을 최소화할 수 있는 보정시스템 개발이 필요하다. 본 논문에서 CO 및 CO<sub>2</sub> 센서모듈 개발과 현재의 보정방법에서의 문제점들을 해결할 수 있는 다수센서보정시스템을 제안한다. 제안하는 시스템은 센서모듈, 시스템보드 및 모니터링프로그램 등으로 구성되며 보정은 최소자승법을 기반 한 회귀분석 방법을 사용한다. 제안한 보정시스템의 구성 및 실험결과에 대해 소개하고 결과를 바탕으로 시스템의 유효성을 검증한다.

**핵심주제어** : CO 및 CO<sub>2</sub>센서, 미세조정, 다수 센서, 챔버

**Abstract** Sensor is a key element in various fields of applications such as sensor networks. However, they could not be easily developed because of several factors such as temperature dependence of output characteristics and/or nonlinearity. Calibration of sensor is also needed to solve these problems. Conventional calibration process required a lot of time and expenses. Therefore, it is important to develop sensor systems which can shorten development time and minimize expense. In this paper, we develop CO and CO<sub>2</sub> Sensor modules and propose a multiple sensor calibration system to resolve problems of conventional calibration process. A proposed system is composed of sensor module, system board and monitor program. Regression analysis method based on the least mean squares is used for calibration. We introduced the structure of calibration systems and experimental results. Calibration results can be used to confirm the effectiveness of the proposed system.

**Key Words** : CO and CO<sub>2</sub> Sensor, Calibration, Multiple Sensor, Chamber

### 1. 서론

미래형 자동차에서 요구하는 센서는 18개 시스템에서 100종 이상의 센서를 필요로 하는 것으로 알려져

있다. 센서는 산업자동화 및 지능화에 필요한 핵심 요소부품으로, 센서 네트워크, 자동차 배기가스 감지장치, 유해가스 차단장치 등 여러 분야에서 지속적으로 그 수요가 증가되고 있다[1]-[3]. 이러한 센서 시스템은 고정확성, 소형화, 저가격화가 요구되고 있다.

CO가스는 차량의 배출가스 규제대상 성분 중에서 가장 높은 수치를 나타내며, 순환기 장애, 혈구증, 다

\* 대구대학교 전자공학부 교수, 제1저자  
\*\* (주)포커스테크놀로지 연구원, 제2저자  
\*\*\* 대구대학교 전자공학부 교수, 교신저자

증, 단백뇨, 신경계 이상 등의 증상을 가져온다. 현재 다중 이용시설 등의 실내 공기질 관리법에서는 규제 대상 물질로 분류하고 있다[4]. CO센서는 현재 MEMS (Micro Electro Mechanical System)기술을 이용한 저가의 소형센서가 개발되고 있으며, 가스 량에 따라 전기저항이 가변되고, 이러한 전기적 특성을 이용하여 가스의 농도를 확인할 수 있다. 한편 반도체형 CO센서는 그 특성상 특정 가스에 대한 선택성을 갖는 것이 쉽지 않다. 또한 전기저항의 비선형적 특성, 온도특성 및 습도특성 등의 영향으로 가스감도에 미치는 영향이 커서 센서시스템의 부정확한 동작의 원인이 되기도 한다.

CO<sub>2</sub>는 실내공기오염을 파악하는데 가장 적합한 가스이며, 현재 대형빌딩 등에서 환기 상태를 파악하는데 사용되고 있다. NDIR(Non-dispersive infrared absorption)방식의 CO<sub>2</sub> 센서는 화학적 반응을 이용하는 방법에 비해 비교적 정확하며, 고가이다[5]. 그러나 NDIR방식의 경우 적외선의 밝기에 따라 특성이 비선형적으로 변화하며, 주변의 환경에 의해서도 비선형적 특성을 나타낸다.

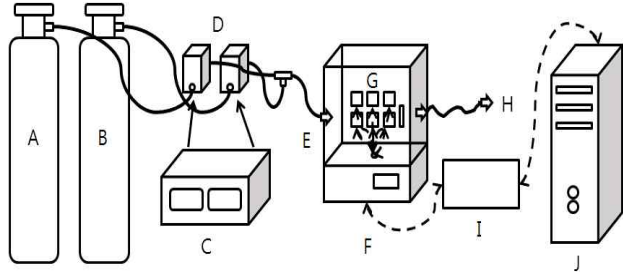
이러한 센서모듈의 비선형적 특성을 보완하기 위해서는 가스센서의 특성을 정확히 파악하여야 하며 우수한 성능을 확보하기 위한 보정과정이 필요하다[6],[7]. 현재 개별적으로 이루어지는 센서보정 과정은 센서시스템의 개발시간과 비용을 증가시키는 원인이 된다. 이러한 보정과정의 문제점은 다수의 센서를 동시에 보정 할 수 있는 시스템의 개발이 이루어지면 효율적으로 해결될 수 있다.

본 논문에서는 먼저 2장에서 다수의 센서모듈을 동시에 보정 할 수 있는 시스템을 제안하고, 3장에서 유해가스 감지장치에 적용이 가능한 CO센서모듈 및 CO<sub>2</sub>센서모듈의 개발에 대해 설명한다. 그리고 4장에서 현재의 센서보정방법이 가지고 있는 문제점들의 해결을 위하여, 최소자승법을 이용한 회귀분석 방법 [8],[9]에 기반하여 개발된 센서모듈 별 특성을 확인한다. 마지막으로 5장 결론에서는 제안된 센서모듈의 신뢰성을 분석하고 향후 연구내용을 검토한다.

## 2. 다수 센서 보정시스템

다수 개의 센서를 동시에 보정하기 위한 시스템은

센서모듈, 챔버, PC, 챔버와 PC를 연결하는 시스템보드로 구성되며 <그림 1>은 전체시스템의 구성을 나타내고 있다.



<그림 1> 다수센서보정시스템의 구성

<그림 1>에서 A는 공기통(질소100%)이며, B는 CO 또는 CO<sub>2</sub>가스통이다. C는 가스농도 조절기(MR500)로서 챔버 내부의 가스비율을 조절하며 할 수 있으며 사용시 15~60℃의 온도와 0~95%의 습도가 유지되도록 한다. 가스는 CO(CO 10.11% + 질소 89.89%)가스 또는 CO<sub>2</sub>가스를 공기(질소100%)와 섞어서 사용하고 비율에 따른 정확한 농도는 기준 측정기를 사용하여 미리 확인한다. 기준측정기는 GRAYWOLF사의 IQ-604를 사용하였다. D는 MFC(Mass Flow Controller)이며 가스통에서 나오는 가스를 가스농도 조절기에서 결정된 유량의 값으로 흐르게 하기 위한 장치로써 사용 가스의 특성을 고려하여 각각 다른 종류의 MFC를 사용한다. E는 가스투입구이고, F는 챔버이며 LABTECH사의 LIB-010M을 사용한다. 챔버 내부에는 설정된 온도를 확인하기 위한 온도계를 포함하며, 챔버는 상온에서 60℃까지 온도조절이 가능하다. G는 센서모듈이며, 최대 20개까지 포함한다. H는 가스배출구로써 인체에 유독한 CO 가스 또는 CO<sub>2</sub> 가스를 외부로 배출하기 위한 부분이다. I는 FPGA 시스템 보드이며 PC 및 센서모듈과 통신한다. J는 PC이며 데이터를 저장하고 회귀계수를 유도한다.

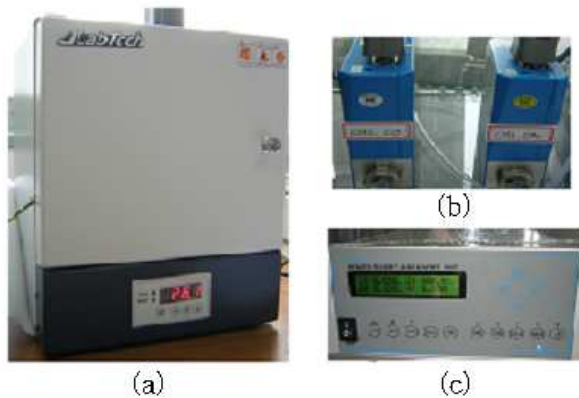
<표 1>은 기준측정기를 통하여 얻어진 공기와 측정 가스의 비율에 따른 농도를 나타낸다. 표에서 sccm (standard cubic centimeter per minute)은 분당 흐르는 부피를 나타내는 유량의 단위이다. 기체의 경우 온도와 압력에 따라 같은 양의 분자를 포함하더라도 부피가 변하므로 온도와 압력을 표준상태(0℃, 1기압)로 고정하여 환산한 값을 사용한다. slm(standard liter

per minute) 분당 흐르는 리터를 나타내는 유량의 단위이며 표준상태로 환산한 값을 사용한다.

<그림 2>는 챔버, MFC 그리고 가스농도조절기의 사진을 나타낸다.

<표 1> 공기와 CO가스 비율에 따른 가스 농도

비율		비율에 따른 농도(ppm)
Air(slm)	CO(sccm)	
2	0	0
2	0.22	100
2	0.44	200
2	0.66	300
2	0.88	400
2	1.1	500
2	1.32	600
2	1.54	700
2	1.76	800
2	1.98	900
2	2.2	1000

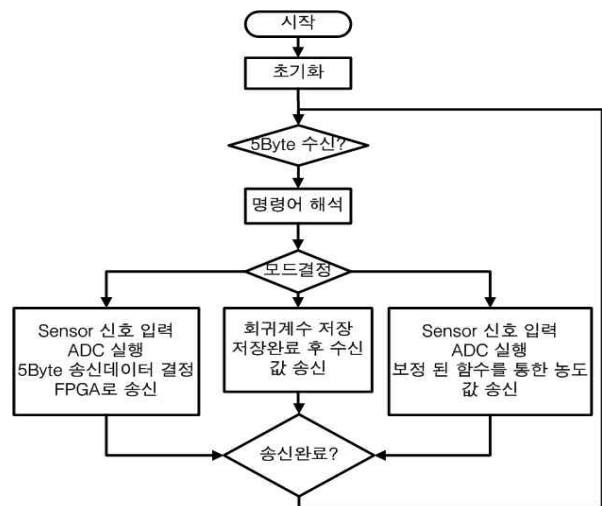


<그림 2> (a)챔버 (b)MFC (c)가스농도조절기

### 3. 센서모듈설계

공기 중의 CO 및 CO<sub>2</sub> 가스를 정확하게 검출하고 제어장비에 의하여 실시간으로 제어와 감시를 하기 위해서는 센서모듈의 개발이 수반되어야 한다. 본 논문에서는 환기제어, Roomcon, 공기청정기, 자동차 공기청정기 등 소형화 제품에 적합한 CO센서모듈과 CO<sub>2</sub>센서모듈을 제작하여 시스템에 적용하였다. 센서

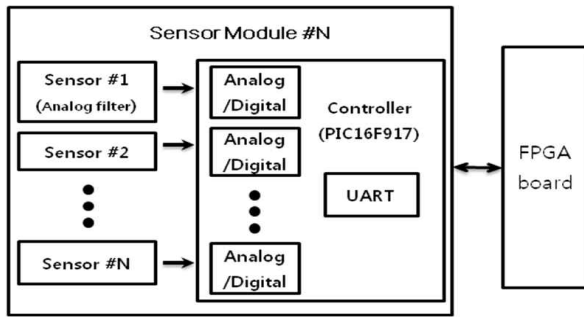
모듈은 Microchip사의 PIC16F917을 포함하고 있어서 센서모듈과 FPGA시스템 보드간의 데이터 송수신이 가능하고 보정 중인 상태와 보정 후로 나누어 보정이 끝나면 실제 농도를 전송할 수 있도록 설계한다. 이때의 통신프로토콜은 센서가 다수일 경우에도 특정 센서를 선택할 수 있고 특정 센서의 감도를 확인 할 수 있도록 결정한다. 통신 프로토콜 중 하위 4바이트는 데이터를 나타내며 모드에 따라 센서의 출력, 최종결과 또는 회귀계수데이터를 송신한다. <그림 3>은 모드에 따른 마이크로프로세서의 수행절차를 나타낸다.



<그림 3> 센서모듈의 수행절차

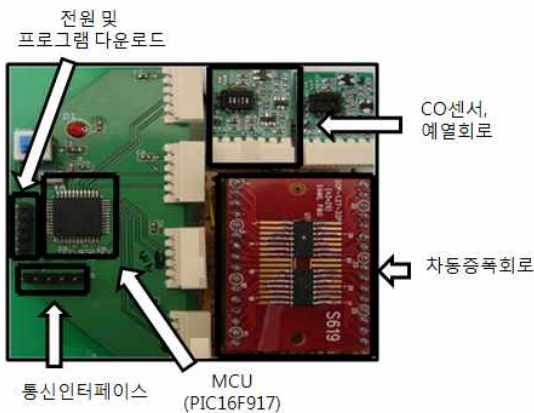
센서모듈은 센서의 출력특성 향상을 위한 센서 주변 회로와 마이크로프로세서로 구성된다. 센서는 CO센서(마이크로케미칼사의 반도체 센서)와 CO<sub>2</sub>센서(하이만사의 NDIR 센서)를 사용하고 센서 주변에는 센서의 정확도를 향상시키고 잡음을 줄이기 위해 추가회로를 설계하였고, 마이크로프로세서는 센서의 아날로그 출력을 확인하기 위해 10비트 ADC를 포함하고 있다. <그림 4>는 센서모듈의 구조를 나타낸다.

본 논문에서 사용한 CO센서는 MEMS 기술을 이용한 반도체 방식의 센서이며, NO<sub>x</sub> 센서를 포함하고 있다. 센서모듈은 예열회로를 추가하였고 센서의 정확도를 향상하기 위해 차동증폭회로를 포함하고 있다. CO<sub>2</sub>센서모듈은 마이크로프로세서(PIC16F917), 센서, 증폭회로 등으로 구성되어 있으며 보정 과정에서 마이크로프로세서는 센서신호를 입력받아 디지털 값으로 변

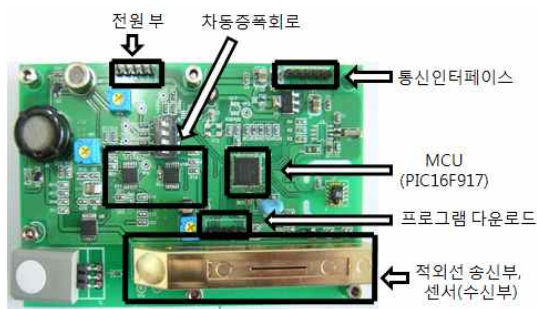


<그림 4> 센서모듈의 구성

환하여 보정데이터를 획득하는데 사용된다. FPGA 보드와는 시리얼 통신을 이용하여 보정데이터를 송수신하고 보정이 끝나면 CO<sub>2</sub>농도를 송신한다. <그림 5>과 <그림 6>는 각각 제작된 CO센서모듈과 CO<sub>2</sub> 센서모듈의 사진을 보여준다.



<그림 5> CO센서모듈의 사진



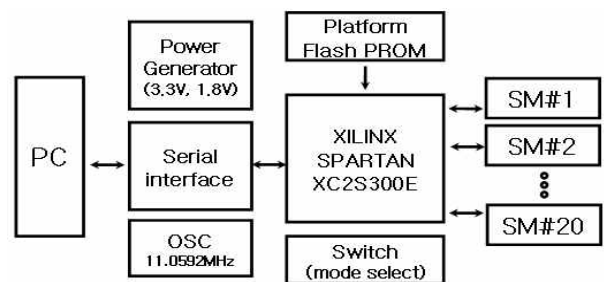
<그림 6> CO<sub>2</sub> 센서모듈의 사진

센서모듈을 제어하고 데이터를 전송하기 위해서는 별도의 시스템보드가 필요하다. 본 논문에서는 마이크로프로세서에 비해 많은 핀을 가지고 있으며, 다수의 동

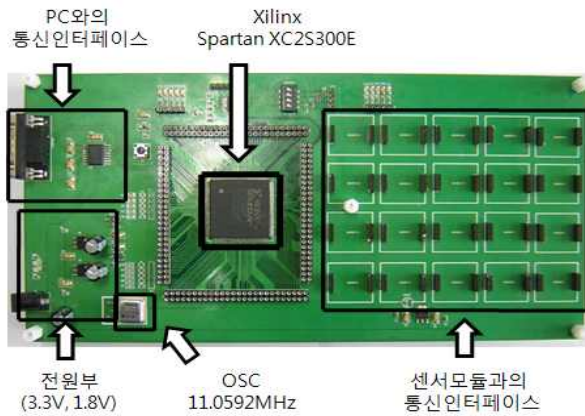
일 기능을 구현하기 용이한 FPGA(Field Programmable Gate Array)를 사용하여 구현한다. FPGA는 주문형 반도체인 ASIC(Application Specific Integrated Circuit)을 칩으로 제작하는데 소요되는 비용과 시간 낭비를 줄이고 시스템을 검증하거나 시장에 대한 신속한 대응이 필요한 분야에 사용된다. 또한 복잡한 보정알고리즘을 빠르게 수행할 수 있다.

FPGA 시스템보드는 PC 프로그램으로부터 제어 신호와 데이터를 전송받은 후 이를 분석하여 각 센서 모듈로 데이터를 전송하고 제어한다. 또한 센서 모듈로부터 데이터를 수신 하여 이를 컴퓨터로 전송하는 기능도 수행한다. 보드에서 발생하는 노이즈 혹은 센서 모듈간의 신호 차에 의해서 발생할 수 있는 센서 모듈간의 오차를 줄이기 위해 공급 전원 및 제어 신호를 센서모듈과 가능한 동일한 환경이 되도록 설계한다.

FPGA보드의 구성은 <그림 7>와 같다. FPGA는 Xilinx사의 300만 시스템 게이트를 제공하는 Spartan XC2S300E를 사용한다. PC와 시리얼통신(RS-232C)을 하기 위해 MAX232칩을 이용하여 시리얼 인터페이스를 구현한다. FPGA사용에 필요한 전원을 공급하기 위해 전원부를 설계하며, 전원부는 3.3V와 1.8V의 전원을 공급한다. 시스템 보드는 센서모듈을 최대 20개 까지 연결할 수 있도록 설계하고 시스템을 리셋 하거나 동작시점을 결정 할 수 있는 스위치를 포함한다. <그림 8>은 실제 제작된 FPGA 시스템 보드의 사진을 나타낸다.



<그림 7> FPGA시스템보드의 블럭다이어그램



<그림 8> FPGA시스템보드의 사진

#### 4. 실험결과

##### 4.1 CO 및 CO<sub>2</sub> 센서모듈의 특성 보정

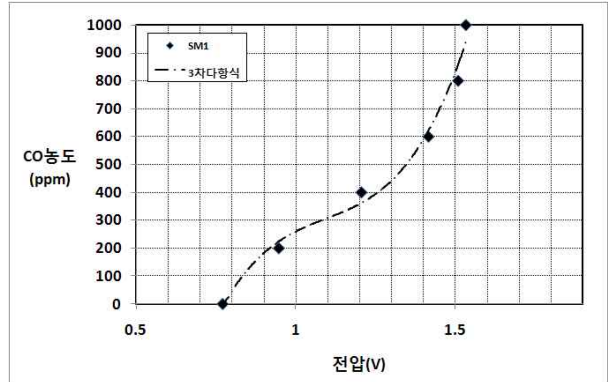
센서모듈은 전원이 인가되면 센서와 센서주변온도에 의해 일정시간동안 비선형적 특성을 나타낸다. 즉, 센서모듈은 전원인가 후 일정시간이 지난 뒤 센서와 센서주변의 온도가 정상상태에 도달하며, 초기온도변화에 의한 오차가 없어진다. 온도에 따른 CO 및 CO<sub>2</sub> 센서모듈의 비선형 특성을 확인하기 위하여 센서특성에 영향을 미칠 수 있는 주변 환경을 CO와 CO<sub>2</sub> 농도 0ppm, 습도 40%로 일정하게 만든다.

CO 및 CO<sub>2</sub> 센서모듈의 농도별 전압변화에 대해 보정을 위하여 센서모듈의 농도별 전압특성을 컴퓨터에 저장하고, 회귀분석을 통하여 추정된 회귀식을 찾은 후 마이크로프로세서에 회귀계수를 바꾸는 방법으로 보정을 실시하였다. 실험은 챔버 내부에 센서모듈을 설치한 후 온도22℃, 습도 40%의 일정한 주변 상태를 맞춘 다음 CO와 CO<sub>2</sub>가스의 농도를 변화시키면서 센서 모듈의 출력 값을 측정한다. 추정된 회귀식은 CO 및 CO<sub>2</sub> 센서모듈에 대하여 각각 식(1) 및 식(2)와 같고, 그때의 결정계수는 0.9853으로 추정된 회귀방정식이 농도  $y$ 대해 비교적 정확하게 설명할 수 있음을 알 수 있다.

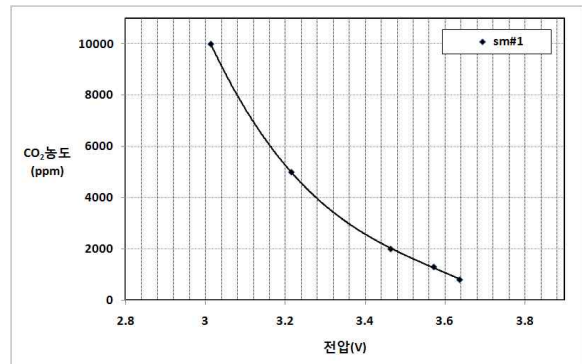
$$y = 2359.8x^3 - 22892x^2 + 74379x - 80676 \quad (1)$$

$$y = -27098x^3 + 291296x^2 - 1050485x + 1271909 \quad (2)$$

<그림 9>와 <그림 10>은 회귀분석을 통하여 획득한 CO센서모듈 및 CO<sub>2</sub> 센서모듈의 농도별 전압특성을 각각 나타낸다.



<그림 9> 추정된 회귀식을 이용하여 획득한 농도별 전압특성



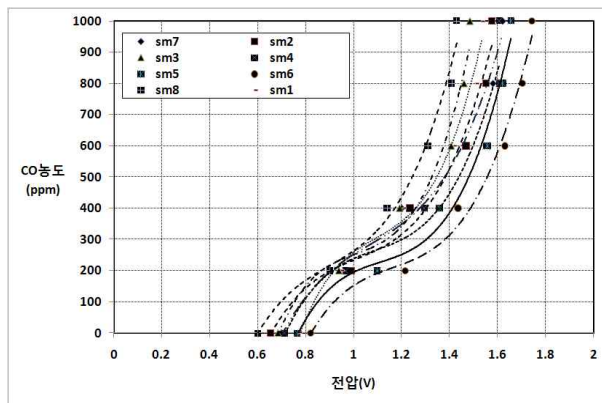
<그림 10> 추정된 회귀식을 이용하여 획득한 농도별 전압특성

센서모듈의 센서보정시간은 약 35분이 소요되었으며 6번의 데이터 획득시간과 보정 후 회귀계수 수정시간을 포함한 시간이다. 이것은 일반적인 방법인 가변저항을 이용한 보정방법에 비해 수정시간이 필요하지 않기 때문에 보정시간이 단축됨을 알 수 있다.

##### 4.2 다수센서모듈의 동시 보정

제안한 센서 보정 시스템의 유효성을 검증하기 위하여 다수의 센서모듈을 동시에 보정하고 앞서 확인한 기준의 센서보정과 비교한다. 또한 센서보정에 소요되는

시간을 확인한다. 8개의 CO센서모듈을 이용하여 보정을 실시하며 챔버 내부에 8개의 센서모듈을 설치한 후 온도30℃, 습도 40%의 일정한 주변 상태를 만든다. 다음은 가스농도 조절기를 이용하여 0, 200, 400, 800, 1000ppm의 CO가스를 차례로 주입하고 각 농도별로 5분 이상 같은 전압을 유지할 경우 데이터를 저장한다. 제안된 시스템에서는 센서모듈의 차이와 관계없이 보정이 이루어지며 이러한 보정 방법은 보정 후 각 센서모듈의 특성을 각각 포함한다. <그림 11>는 실험결과 추정된 회귀방정식을 그래프로 나타낸 것이며 각 센서모듈에서 측정된 전압과 회귀방정식에 의해 추정된 다항식이 모두 근접해 있음을 볼 수 있다. 즉, 특성이 모두 다른 8개의 센서모듈이 각각 특성이 반영되어 보정 되는 것을 확인할 수 있다. 제안된 시스템을 이용하여 센서모듈을 보정할 때 예열시간을 제외한 센서보정시간은 약 45분이었고 이것은 6번의 데이터 획득시간, 보정 후 회귀계수 수정시간을 포함한 시간이다. 보정시간 45분은 8개의 센서모듈을 동시에 보정한 시간을 나타내며, 1개의 센서모듈에 걸리는 시간은 약 6분이었다. 즉, 제안된 보정시스템을 이용하였을 때 기존방법에 의한 보정시간 분에 비해 약 39분의 시간 단축을 이루었다.



<그림 11> CO 농도별 측정 전압 및 추정된 회귀방정식을 이용한 전압특성

<표 2>는 CO 센서모듈에 대해 가변저항을 이용하여 보정한 센서모듈 1개와 다수센서보정시스템을 이용하여 보정한 센서모듈 4개를 이용하여 보정한 결과를 나타낸 것이다. 보정된 센서모듈에 대해 각각 100, 300, 500ppm의 CO 가스를 주입하였을 경우 출력을

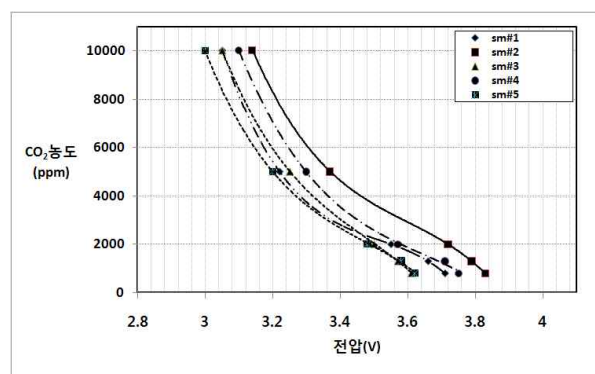
측정하였다.

<표 2> 보정방법에 따른 CO센서모듈 출력비교

CO가스 농도 (단위 : ppm)	일반적 방법	제안된 센서보정시스템을 이용한 방법			
	모듈0	모듈0	모듈1	모듈2	모듈3
100	95	94	97	96	98
300	293	295	302	299	301
500	509	506	512	504	509

일반적 보정방법에 의한 보정 된 센서모듈의 보정 후 오차의 합은 21ppm이었으며 제안된 보정시스템을 이용하여 보정 된 센서모듈은 각각 17, 17, 9, 12ppm의 오차의 합을 보였다. 제안 된 시스템을 이용하여 획득한 보정결과가 시간은 단축되면서도 일반적 방법에 비해 비슷한 정도의 오차를 나타내었다.

CO<sub>2</sub>센서모듈을 보정하는 과정은 CO센서모듈의 경우와 유사하며 농도별 전압특성을 확인하기 위해 800, 1300, 2000, 5000, 10000ppm의 CO<sub>2</sub>가스를 사용하였다. 실험 중 주변의 외란을 최소화하기 위해 주변 환경을 온도 30℃, 습도 40%로 일정하게 유지하였고 5개의 센서모듈을 이용하여 보정하였으며, 최소자승법을 이용한 회귀분석을 사용하여 보정하였다. <그림 12>는 추정된 회귀방정식을 그래프로 나타낸 것으로 각 센서모듈에서 측정 된 전압과 회귀방정식에 의해 추정된 회귀식이 모두 근접해 있음을 알 수 있다.



<그림 12> CO<sub>2</sub> 농도별 측정 전압 및 추정된 회귀방정식을 이용한 전압특성

센서보정시간은 약 45분이 소요되었다. 이것은 5번

의 데이터 획득시간, 보정 후 회귀계수 수정시간을 포함한 시간이다. 이것은 5개의 센서보정시간을 나타내며, 한 개의 보정시간은 약 9분이었다. 즉, 제안된 보정시스템을 이용하였을 때 기존방법에 의한 보정시간 50분에 비해 약 40분의 시간이 단축되는 것을 확인하였다.

<표 3>은 앞서 개발된 CO<sub>2</sub>센서모듈에 대해 가변 저항을 이용하여 보정한 센서모듈 1개와 제안된 센서보정시스템을 이용하여 보정한 센서모듈 2개의 결과를 비교 분석한 것이다.

<표 3>보정방법에 따른 CO<sub>2</sub> 센서모듈 출력비교

CO <sub>2</sub> 가스 농도 (단위 : ppm)	다수센서보정시스템을 이용한 방법		
	일반적방법 모듈0	모듈0	모듈1
1000	984	1004	988
1500	1482	1485	1503
2200	2186	2197	2212

실험은 각각 보정 후 센서모듈에 대해 1000, 1500, 2200ppm의 CO<sub>2</sub>가스를 주입하였을 경우 센서모듈의 출력을 확인한 것이다. 기존의 방법에 의한 보정결과와 제안된 시스템을 이용하여 획득한 보정결과를 비교해 보면 대체로 제안된 시스템에서 측정 오차가 작은 것을 확인할 수 있다.

## 5. 결론

본 논문에서는 환기제어, 자동차 공기청정기 등 소형화 제품에 적합한 CO<sub>2</sub>센서모듈과 CO<sub>2</sub>센서모듈을 제작하였다. 또한 개발된 센서모듈, 시스템보드, PC 및 보정에 필요한 기타 장비 등으로 구성된 센서보정시스템을 제안하였다. 실험을 통하여 센서모듈의 전압특성을 확인하였고, 최소자승법을 이용한 회귀분석방법에 기반하여 제안된 센서보정 시스템을 이용하여 다수의 센서모듈을 보정하였다. 마지막으로 제안된 시스템이 기존의 보정시스템에 비해 보정시간을 획기적으로 줄일 수 있음을 확인하였다. 제안된 센서보정 시스

템은 다른 종류의 가스센서 모듈에 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

## 참 고 문 헌

- [1] 한국산업기술재단, "차세대 센서 및 센서네트워크 (산업기술로드맵⑤),"pp.3-11, pp.161-166, 2004.
- [2] 손병기, "센서기술과 그 발전동향", 대한전자공학회, 전자공학회지 제28권 10호, pp.15-21, 2001.
- [3] Sohn, B. K., "Sensor technology-a new perspective," Proc. KOSEF's 20th Anniv. Sympos. on Issues of Sci. and Tech. in the 21st Cent, Seoul, pp.321-331, 1997.
- [4] 공성용, 이희선. "실내공기질 관리제도 발전방안에 관한연구," 한국환경정책·평가연구원, 2004.
- [5] Pandey, S. K & Kim, K. H & Lee, S. H., "Use of a Dynamic Enclosure Approach to Test the Accuracy of the NDIR Sensor: Evaluation Based on the CO<sub>2</sub> Equilibration Pattern," Molecular Diversity Preservation International(MDPI), Sensors Journal, pp.3459-3471, 2007.
- [6] 송기무, 이진우, "3축 MEMS 가속도 센서의 이득 및 오프셋 자동 교정법", 전력전자기술대회 논문집, pp.302-304, 2006.
- [7] 정완영, 이승철, "Intelligent AQS System with Artificial Neural Network Algorithm and ATmega128 Chip in Automobile", 제어·자동화·시스템공학 논문지, pp539-546, 2006.
- [8] 박은수, 김학일. "MEMS 3축 가속도 센서의 Calibration에 관한 실험적 연구," 대한전자공학회 하계종합학술대회 논문집, pp.949-950, 2007.
- [9] William J. Palm III. ,"Introduction to matlab 7 for engineers, inter vision," 2007.



**박철영** (Cheol-Young Park)

- 정회원
- 경북대학교 전자공학과 공학사
- 경북대학교 전자공학과 공학석사
- 도호쿠대학 공학박사
- 대구대학교 전자공학부 교수
- 관심분야 : RFID/USN, VLSI 설계 및 신개념 지능형 소자 개발



**임병훈** (Byung-Hun Lim)

- 비회원
- 대구대학교 전자제어공학 공학사
- 대구대학교 전자공학과 공학석사
- (주)포커스테크놀로지 연구원
- 관심분야 : 제어시스템, RFID/USN, 센서시스템 개발



**류정탁** (Jeong-Tak Ryu)

- 정회원
- 영남대학교 전자공학과 공학사
- 오사카대학교 전자공학과 공학석사
- 오사카대학교 전자공학과 공학박사
- 대구대학교 전자공학부 부교수
- 관심분야 : 나노 및 센서 공학

논문 접수일 : 2010년 02월 12일

1차수정완료일 : 2010년 03월 15일

2차수정완료일 : 2010년 03월 18일

게재확정일 : 2010년 03월 20일