

휴대 단말기와 결합 가능한 복합 유해 가스 검출 장치에 관한 연구

김 종 헌*, 이 찬 주°

Study on Harmful Multi-Gas Detection Device Combined with the Portable Mobile Devices

Jong-heon Kim*, Chan-joo Lee°

요 약

작업환경 안전을 위한 유해 가스 검출 장치의 소형화와 모바일화에 대한 요구에 따라서 스마트폰과 결합 가능한 다중 유해 가스 검출 장치를 제시하였다. 다중가스 센서는 한 개의 비분산 적외선 방식의 센서와 두 개의 전기화학식 센서로 구성되며 CO₂, CO, HC, O₂와 H₂S의 5가지 가스를 검출한다. 스마트 폰 앱 프로그램을 활용하여 가스 농도 및 알람메시지를 화면에 디스플레이 하도록 하였다. 상온 20°C에서 CO₂ 표준가스 1,500ppm에 대한 측정 결과 퍼센트 오차는 0.59%였으며, O₂ 표준가스 25% VOL의 경우 퍼센트 오차는 0.008%의 안정된 결과를 나타내었다.

Key Words : Multi-gas sensor, Non-dispersive Infrared (NDIR), Electrochemical sensor, smart device

ABSTRACT

According to requirements of miniaturization and mobility of the harmful gas detection device for safety of working environments, a multi-harmful gas detection device with the detachable mobile devices is presented. The multi gas sensor for detecting five gases such as CO₂, CO, HC, O₂, and H₂S contains a non-dispersive infrared sensor and two electrochemical sensors. The measured gas concentrations and alarm messages are displayed on the smart phone using android smart phone application. From the measured results, 0.59% tolerance error for the 1,500ppm CO₂ gas and 0.008% tolerance error for the 25% LEL O₂ gas are achieved at the room temperature 20°C.

I. 서 론

산업현장에서 유독성 가스, 가연성 가스로 인한 재해로부터 인명과 재산보호를 위하여 또는 건물이나 실내, 지하 환경에서 공기오염의 질 관리를 위하여 휴대용 유해가스 측정장치의 필요성이 늘어나고 있다.

그러나 복합가스 측정기는 가격이 매우 고가이고, 단일가스 측정기만으로는 현장에서의 다양한 유해가스에 대응이 불가능하기 때문에 소형이면서 휴대 가능한 복합가스 측정기의 사용은 필수적이다.

최근의 국내외 연구동향을 살펴보면 크게 세 분야로 동시에 다양한 가스를 측정할 수 있는 복합센서에

※ 본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2015년도 산학협력기술개발사업(No. C0236822)과 광운대학교 2017년도 교내학술연구비 지원에 의한 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

• First Author : Kwangwoon University Department of Electronic Convergence Engineering, jhkim@kw.ac.kr, 종신회원

° Corresponding Author : Shinhan University Department of IT Convergence, cjlee@shinhan.ac.kr, 종신회원

논문번호 : KICS2017-09-238, Received September 7, 2017; Revised November 13, 2017; Accepted November 13, 2017

관련된 연구 분야, 휴대성 및 이동성이 편리한 소형화 기술에 관련된 분야 그리고 최근 새로운 무선통신 기술을 활용하여 다양한 데이터 전송에 관련된 연구로 분류된다.

국내에서는 대기오염을 모니터링하기 위하여 MEMS 기반과 적외선 기반의 상업용 센서들을 활용하여 이산화탄소(CO₂), 일산화탄소(CO), 이산화질소(NO₂) 및 휘발성 유기화합물(VOCs, Volatile Organic Compounds)등을 측정할 수 있는 대기오염 측정 모니터링 시스템을 구현하고 IEEE 802.15.4 기반의 센서 노드를 구현하여 데이터를 수집하는 논문이 발표되었으며^[1], 외국에서는 비분산적외선(NDIR, Non Dispersive Infrared) 기술을 사용하여 CO₂, CO 및 메탄(CH₄)을 측정할 수 있는 세가지 가스 검지용 시스템이 발표되었으며, 전체 광공동의 크기는 10mm(반경) X 10mm(높이)였다.^[2] 소형화를 위하여 신호변조 기술 및 칩 제작 기술을 적용한 초소형 복합 가스 검출시스템도 발표되었다.^[3,4]

또한 이러한 센서들과 최근 다양한 무선통신 기술을 활용한 데이터 전송분야의 연구로는 국내에서는 NDIR 방식의 CO₂ 센서를 이용하여 지하 공기질 모니터링 시스템을 구축하고, 센서노드와 게이트웨이 사이는 멀티홉 통신으로 IEEE 802.15.4 기반의 ZigBee 기술을, 게이트웨이와 수신서버 사이의 통신은 IEEE 802.11b 기반의 무선랜을 이용하여 전체 네트워크를 구현한 논문과^[5], 외국에서는 소형 복합 가스 센서를 차량통신에 사용하는 CAN(Controller Area Network) 버스와 433MHz 무선 데이터 전송기술을 접목시켜서 탄광내에서 가스 검출을 위한 장치로 사용한 결과가 발표되었다.^[6]

또한 무선센서네트워크(WSN, Wireless Sensor Network)의 응용이 활발해지면서 건물내부의 다양한 위치에서 실시간, 고속 센싱이 가능한 신뢰성 있는 CO₂ 센서의 활용기법^[7]과 WSN용 CO₂ 센서 시스템으로 1.5V, 1500mAh 배터리를 사용하여 642일 동안 사용 가능하도록 무선 인터페이스를 구현한 결과도 발표되었다.^[8]

최근에는 휴대성과 이동성, 편리함을 추구하여 스마트폰과 연동되는 논문들도 발표되고 있으며, 국내에서는 CO₂ 단일 가스 측정용 소형 센서모듈을 스마트폰과 USB를 통하여 인터페이스 하도록 구현하고, 측정결과를 안드로이드 앱을 활용하여 디스플레이하는 방식의 논문^[9], 국외에서는 VOC를 측정하기 위한 하이브리드 방식의 화학센서를 배터리로 동작하는 소형 시스템을 구현하고, 블루투스를 활용하여 셀룰러폰과

함께 동작하는 방식의 논문이 발표되었다.^[10]

본 연구에서는 산업현장에서 산소결핍 및 화재·폭발의 위험성이 있는 장소인 밀폐공간에서 유해가스로 규정된 CO₂, CO, 황화수소(H₂S), 탄화수소(HC)와 생존에 필요한 산소(O₂) 모두 5개의 가스를 동시에 측정이 가능한 시스템을 개발하고, 소형화를 위하여 일반 스마트폰과 인터페이스를 가능하도록 제작하였으며, 안드로이드 앱을 통하여 다양한 주요 측정 데이터들을 표시하고 위험상태에는 알람 신호를 보내도록 구현하였다.

II. 가스 측정 장치 설계 및 제작

가스센서는 측정방식에 따라서 촉매비드, 광이온화, 적외선, 반도체 및 전기화학식 방식으로 나뉜다. 적외선을 사용하는 NDIR 방식은 전기화학식에 비하여 측정 샘플가스와 센서의 검출장치가 직접 접촉하지 않기 때문에 측정 정밀도가 우수하고 신뢰성이 높은 장점을 있다. 그러나 NDIR 방식은 하나의 센서로 동작하는 것이 아니라 IR 광원, 광 도파관 및 검출기 등 다양한 부품의 구성되어 있어서 시스템이 복잡하다는 단점을 가지고 있다. 반면에 전기화학식 센서는 구성이 단순하고 온도에 매우 안정한 장점을 가지고 있다.

현재 가스 센서 시장은 상대적으로 신뢰성은 약간 떨어지는 전기화학식 센서는 소비자시장에서, 신뢰성이 높은 적외선 센서는 산업용, 연구용 및 의료장비 시장에서 널리 사용되고 있다.^[1,6,11]

본 연구에서는 각 센서의 장단점을 활용하여 그림 1의 전체 시스템의 구성도와 같이 NDIR 센서는 CO₂, CO, HC 가스를 전기화학식 센서는 O₂ 와 H₂S를 검출한다. 외부전원 또는 충전배터리로 부터 안정적인 전원을 제공하고, MCU는 구동 펄스를 발생하여 각 센서로 부터 측정된 가스를 검지, 분석하고 데이터를 처리하고 수집하는 역할을 한다. 분석된 각각의 가스

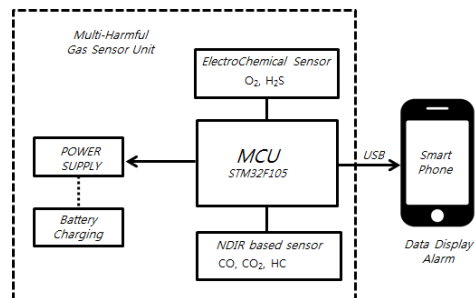


그림 1. 복합 가스 검출 시스템의 블록도
Fig. 1. Block diagram of the multi-gas detection system

데이터는 USB를 통하여 스마트폰으로 전송되며 안드로이드 앱을 통하여 다양한 결과를 디스플레이 한다.

2.1 NDIR방식 센서 구동회로

본 논문에서는 NDIR(Non Dispersive Infrared) 방식의 광학적 가스 센서를 설계하여 CO₂, CO 및 HC 가스를 측정한다. NDIR 가스 센서는 가스의 종류에 따라서 분자들이 적외선의 특정한 파장을 흡수하는 흡광도가 다른 특성을 이용한 것으로, 광 흡수율을 측정하여 가스 농도를 계산하는 방식이다. 일반적으로 CO₂ 가스 분자는 약 4.3 μ m, CO 가스 분자는 약 4.6 μ m 그리고 HC 가스 분자들은 약 3.5 μ m의 적외선 파장을 중심으로 최대 흡수가 일어나는 것으로 알려져 있다.^[7]

NDIR 광센서 회로에서 펄스 구동회로는 그림 2와 같이 3Hz 50% 듀티를 갖도록 일정한 전력을 출력하도록 마이크로 컨트롤러(MCU)에서 광센서를 제어하며, 광도파관을 거치고 각 서로 다른 4개의 검출기에서 수신되어 출력된 펄스파형은 비반전 증폭기(Op amp)와 저역통과필터(LPF)를 거쳐 MCU에 입력으로 되도록 설계하였다.

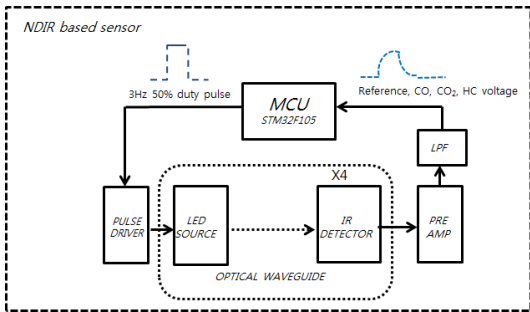


그림 2. NDIR 센서 구동 회로부
Fig. 2. Driving circuit of NDIR sensor

2.2 광 도파관 설계 및 시뮬레이션

Lambert-Beer 흡수 관계식에 의하여 광 경로(optical path)를 길게 설계하면 특정한 파장의 적외선에 반응하는 가스 분자의 수가 많으므로 수신된 전압의 변화가 커지고, 결과적으로 센서의 감도와 분해능이 우수해진다. 그러나 물리적인 크기의 제한과 제작 비용 증가 등의 이유로 광도파관에서 광 경로를 최대한 길게 할 수 없으므로, 최적의 빛 경로를 선택하고, 또한 광 손실을 최소화하여 같은 농도의 변화량에 대한 전압의 변화가 최대가 되도록 설계하는 것이 핵심이다.^[6]

NDIR 가스 센서의 적외선 광원으로는 Heimann Sensor의 EMIRS200을 사용하였다. EMIRS200은 광대역 방사 특성을 갖으며 빠른 방열 특성과 넓은 변조 주파수 대역, 저 전력 소모, 장시간의 안정성 그리고 콤팩트한 패키지 등의 우수한 특성을 가지고 있다. 적외선 검출기로는 Heimann Sensor의 HTS Q21 센서 소자를 사용하였다. HTS Q21 센서 소자는 4개의 독립된 센서 칩들로 구성되어 있어서 넓은 파장 범위에 CO₂, CO 및 HC 가스에 대한 전송특성이 우수하며 다중 채널 가스 농도를 측정하기에 적합하다.^[12]

본 논문에서는 데이터 복에서 제공된 적외선 광원 EMIRS200과 광 검출기 HTS Q21 패키지 정보를 바탕으로, 최적의 광 경로를 가지는 광도파관을 설계하였다. 광 경로를 길게 하기 위하여 입사된 광이 여러 번 반사되어 광검출기 도달하도록 시뮬레이션을 통하

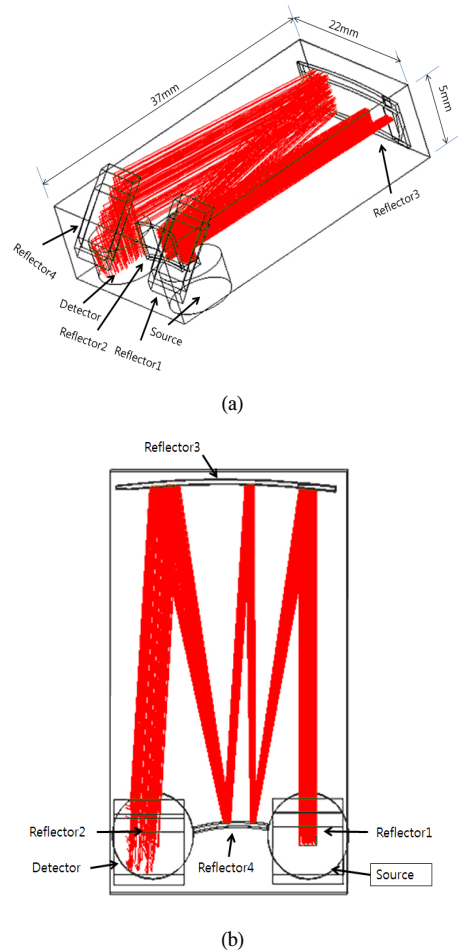


그림 3. 최적화된 광도파관 구조와 광경로 (a)측면 (b)윗면
Fig. 3. Optimized optical waveguide structure and optical path (a) side view (b) top view

여 반사경의 크기와 각도 등을 설계하였다.

그림 3 (a)와 같이 광원과 광 검출기가 같은 면에 나란히 설치되도록 하고, 광원 위의 반사경(Reflector 1)은 수평선의 45° 각도를 갖도록 설계하였으며 반사경의 폭은 8mm, 반사경의 두께는 1mm, 반사경의 길이는 5.5mm이다. 광 검출기도 도파관 윗면과 수직 방향으로 설정하고 그 위에 반사면(Reflector 2)을 추가로 설정하여 빛을 좀 더 효율적으로 집광하는 구조로 설계하였다.

도파관 내부에서는 광을 집광하는 오목거울, 집광 반사경(Reflector 3)과 반사시켜서 확산하는 볼록거울, 확산반사경(Reflector 4)을 설계하여 최소한의 손실로 광 검출기로 전파되도록 설계한다. 그림 3(a)와 (b)와 같이 빛이 광원으로부터 총 7번 반사경로(1 - 3 - 4 - 3 - 4 - 3 - 2)를 지나 최종적으로 광 검출기에 도달하며, 시뮬레이션 결과로 광원의 세기가 1W일 때 광 검출기에서 0.42W의 출력을 얻었다. 광 도파관 설계 후 빛의 경로에 대한 시뮬레이션과 분석을 통해서 광 도파관을 제작하였다. 여기서 광 도파관의 길이는 37mm, 광 도파관의 넓이는 22mm로 설정하였다. 이때, 반사경 표면은 센서의 정밀도를 유지하고 오차를 최소화 할 수 있도록 내부를 특수도금 처리하였다.

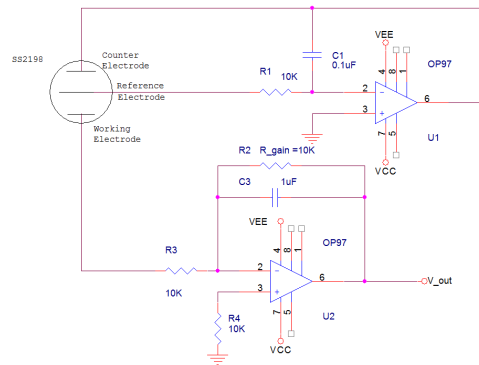
2.3 전기화학방식 센서 구동회로

일반적으로 전기화학방식 센서는 검지전극(working electrode), 대향전극(counter electrode)와 참조전극(reference electrode)의 세 개의 전극으로 구성된다. 검지전극은 센서의 센싱부이며 대향전극은 검지전극의 화학반응의 균형을 맞추며, 참조전극은 센서가 동작할 때 전위를 일정하게 유지시켜 주는 역할을 한다. 검지전극에 가스가 접촉하면 화학반응이 시작되고 산화 또는 환원반응에 의하여 대향전극 사이에는 전류가 발생하고, 이 전류를 신호처리를 통하여 가스 농도에 비례하는 전압으로 측정된다. 센서의 가스농도 C와 출력전압 V 사이의 관계는

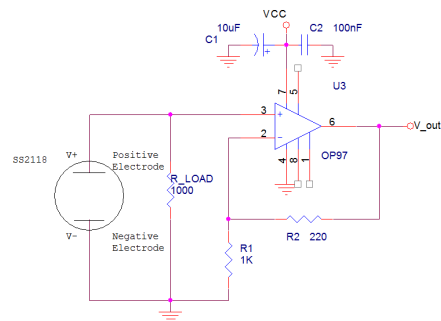
$$C [\text{ppm}] = K \times V \quad (1)$$

로 나타내며, 여기서 K는 비례상수이다. [11]

본 논문에서 전기화학식 센서는 상용제품(COTS, Commercial Off-the-Shelf)으로 O₂ 센서는 SENKO의 SS2118을 사용하였으며 이 센서는 고농도의 산소 측정용 센서로 빠른 반응시간, 뛰어난 신호의 안정성과 긴 수명이 장점이며, 0~30% 산소 농도 구간에서 신뢰성 있는 선형성을 지니고 있다. H₂S 센서는 SENKO



(a)



(b)

그림 4. 전기화학식 센서 구동회로도 (a) H₂S 센서 (b) O₂ 센서
Fig. 4. Electrochemical sensor driving circuit (a) H₂S sensor (b) O₂ sensor

의 SS1198을 사용하였으며 신뢰성이 우수한 검출 성능을 갖으며 가스 농도에 따른 선형적인 출력 특성과 뛰어난 재현성 및 가스 선택성을 갖는다. 배터리 소비 전력이 낮고 가볍고 소형이어서 휴대용으로 적합하다. [13]

그림 4(a)는 전기화학식 H₂S 센서 구동회로이며, 여기서 센서의 최대 농도 측정치는 500ppm, 출력신호는 0.7±0.2uA/ppm이므로 최대 전류값은 400uA로 설계하였으며, 센서에서 출력되는 수 mV의 전압 값을 OP 앰프 증폭회로를 통하여 MCU가 처리할 수 있는 범위의 전압으로 증폭하여 공급하도록 설계하였다. 그림 4(b)의 O₂ 센서의 구동회로는 두 개의 전극 사이에서 측정회로가 출력 전압을 측정한다. OP97 비반전 증폭기가 고정이득을 가지며 전원은 +5V 단일 전원으로 동작한다.

2.4 전원 및 충전회로

복합 유해가스 측정 장치의 전원으로는 3.6V 2600 mAh 사양의 리튬이온 배터리가 내장되어 있고, 외부

적으로 부터 5V 어댑터 또는 USB 전원을 공급 받아 동작하도록 설계하였다.

2.5 MCU 회로

복합 유해 가스 검출 시스템의 MCU는 ARM Cortex-M3 프로세서 기반의 STM32F105를 사용하여 다양한 신호변환, 온도보상, 캘리브레이션, NDIR 처리 알고리즘 및 스마트폰과의 USB 통신 등을 수행하였다.

MCU의 기본 설계는 NDIR 방식에 따른 CO₂, CO, HC, REF 신호 입력 ADC 핀의 선정, 전기화학식 방식에 따른 O₂, H₂S 신호 입력 ADC 핀을 선정하며, NDIR 방식 및 전기화학식 방식의 입력된 데이터의 온도보상 알고리즘 적용을 위한 온도 신호 입력 핀 역시 ADC 핀으로 지정한다. 또한 적외선 신호원 구동을 위한 펄스폭 변조(PWM) 제어 신호 출력(3Hz 50% duty) 핀을 설계하며, 기본적으로 STM32F105에서 제공하는 USB 핀을 활용하여 스마트폰과 데이터 통신을 할 수 있도록 회로를 설계 하였으며, 내장 배터리의 충전 및 용량 확인을 위한 제어핀을 설정하였다.

2.6 HW 제작 및 구현

그림 5은 부품이 실장된 복합유해가스 센서 모듈의 실물 사진이다. PCB의 윗부분에는 NDIR 센서, 전기화학식 센서는 그 아래에 배치하였으며 전원부와 USB 단자는 스마트폰과 결합을 용이하도록 맨 아래에 배치하였다.

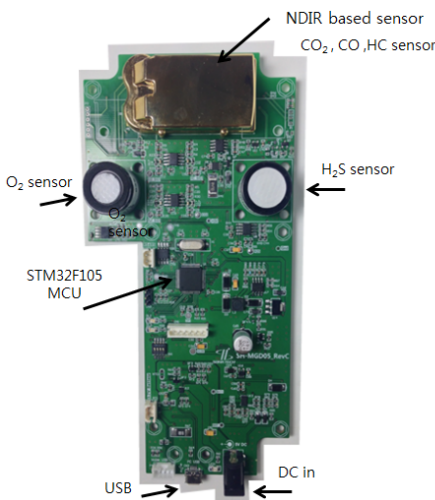


그림 5. 제작된 센서 회로 보드의 실물사진
Fig. 5. Photograph of the manufactured sensor circuit board

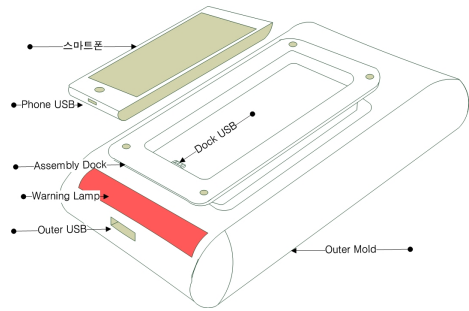


그림 6. 휴대폰이 장착된 복합유해가스 측정기
Fig. 6. Gas detection system with a smart phone

본 논문에서 복합유해가스 검출 시스템 외형은 그림 6과 같으며 내부 케이스는 Samsung Galaxy Note 2 버전으로 제작되었으며, 향후에는 휴대 단말기 크기 및 형태에 맞게 내부 케이스를 변경하여 탈착할 수 있어서, 여러 종류의 휴대 단말기를 장착하여 운영할 수 있다는 장점을 가진다.

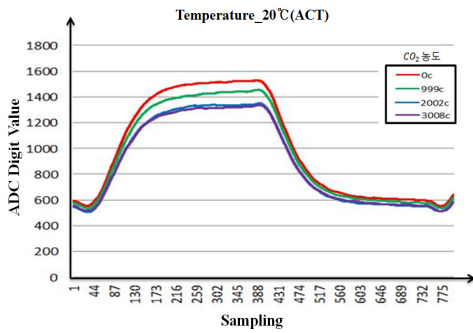
III. 실험 및 측정 결과

3.1 데이터 측정 및 캘리브레이션

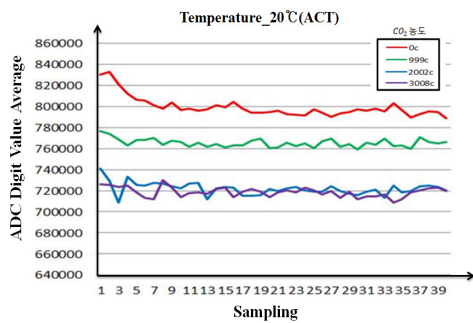
NDIR의 경우 3Hz 50% 듀티를 가지는 펄스를 통과시켜서 수신된 파형을 12bit의 ADC(Analog-to-Digital Converter)를 가지는 STM32F105 MCU에서 ADC 설정 값을 4.5MHz 239.5cycle로 프로그래밍하여 800개의 데이터(약 $800 \times 56\mu s = 44.8ms$ 소요)를 추출하고 그림 7(a)와 같이 한 사이클 주기의 파형을 ADC 2¹²인 4096개의 Digit Value 값만을 변환하여 그래프로 나타내었다. 그림 7(b)는 한 주기 800개 데이터를 총 40여개로 추출하여 오차율 또는 변화율을 쉽게 확인할 수 있도록 평균을 구하였다. 예를 들어 CO₂ 농도 0ppm(질소 가스 공급), 999ppm, 2002ppm 및 3008ppm 가스 공급에 따라서 광도파관 흡광도의 차이에 의하여 ADC Digit Value로 추출되어 표시되는 파형이 변화를 확인할 수 있다.

그림 8은 전기화학식 센서 회로를 통하여 O₂를 측정 한 파형으로 MCU로 입력되는 최종 전압을 나타내며, 펄스파형이 아닌 전압 값으로 산소 농도를 구별하게 되며, 산소의 농도 5%와 25%에 따라서 각각 283mV 와 1.34V로 변화된 전압 값을 확인할 수 있다.

본 연구에서는 다수의 교정 데이터를 테이블 형태로 저장하여 임의의 전압에 대해 인접한 데이터로부터 농도를 산출하는 데이터 테이블 방식(Data Table Method)의 교정 방법과 소수의 교정 데이터로부터 하



(a)



(b)

그림 7. CO₂ 농도에 따른 신호 파형 (a) ADC 출력값 (b) ADC 평균값
Fig. 7. Waveform of CO₂ concentration (a) ADC Value (b) ADC Average Value

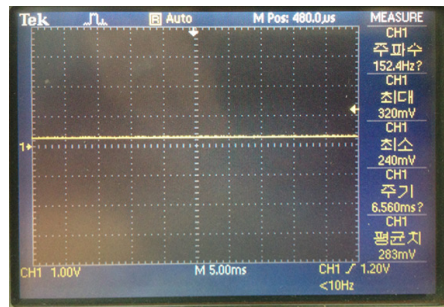
나의 함수를 도출하여 임의의 출력 전압에 대해 역함수로 농도를 환산하는 함수방식(Function Method)의 교정 방법이 사용되었다.

전기화학식 방식으로 데이터를 추출하는 O₂와 H₂S 가스에 대하여는 데이터 테이블 방식의 교정 방법으로 농도를 산출하였으며, NDIR 방식으로 데이터를 추출하는 CO₂, CO, HC 가스에 대하여는 함수 방식의 교정 방법으로 농도를 산출하였다.

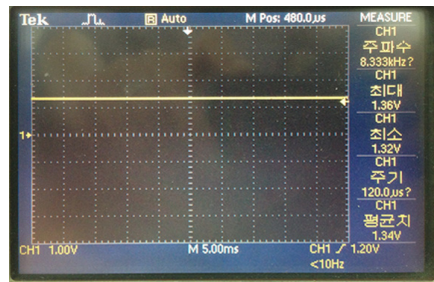
NDIR 방식의 가스 농도 추출 방식은 각 CO₂, CO, HC 가스의 Zero/Span 값을 설정하고 측정한 후에 온도에 따라서 3-점 데이터를 추출하고 curve-fitting을 통하여 함수의 계수를 구하였다.^[7]

3.2 스마트폰과 연동 성능 측정

복합유해가스를 성능 측정하기 위해서 먼저 가스 공급 이전에 항온조 온도를 상온 20°C로 설정하고 약 1시간 정도 유지한 후 온도 안정화를 우선적으로 한 후에, 표준가스의 안정적인 공급을 위한 NDIR 방식 및 전기화학식 방식에 따라 제작된 가스 공급 유입 기



(a)



(b)

그림 8. O₂ 농도에 따른 신호 (a) 5% (b) 25%
Fig. 8. Waveform of O₂ concentration (a) 5% (b) 25%

구를 통하여 가스를 공급하며, PC 운영 프로그램으로 RS-485 통신을 하면서 실험하였다. 본 연구에서는 다섯 개의 시제품 샘플모듈을 제작하여 챔버에서 온도를 변화시키면서 측정하였다.

그림 9는 작업안전 규정인 CO₂ 표준가스 1,500 ppm에 대한 측정 결과의 그래프이다. 온도가 증가함에 따라서 표준값과의 측정 오차의 범위는 증가하였으며, 상온 20°C에서는 표준값과의 평균값과의 차이는 최대 20ppm, 퍼센트 오차는 0.59%의 안정된 결과

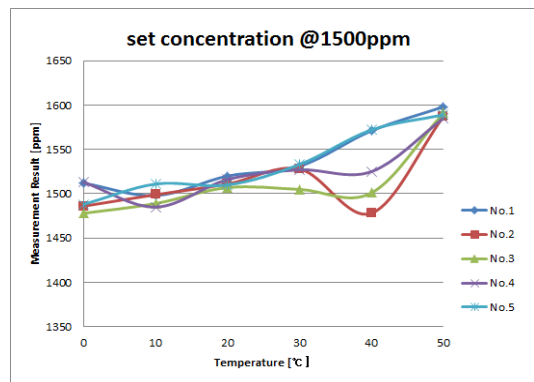


그림 9. 온도 변화에 따른 이산화탄소 농도의 측정 오차 (@1,500ppm)
Fig. 9. Measurement result of CO₂ concentration with temperature variation(@1,500ppm)

표 1. 이산화탄소 농도 평균값, 표준편차 및 %오차 (@1,500ppm)
Table 1. Average value, standard variation and % error of CO₂ concentration (@1,500ppm)

CO ₂ concentration 1,500ppm			
Temperature	Average value [ppm]	Standard deviation [ppm]	% error
0°C	1495.4	16.05	-0.57
10°C	1496.4	10.09	-0.57
20°C	1512.8	5.17	0.59
30°C	1524.8	11.32	1.38
40°C	1529.4	41.87	1.69
50°C	1590.0	5.00	5.72

를 나타내었다.

표 1에 따르면 제품에 따른 표준편차는 40°C에서 41.87ppm으로 가장 크며, 표준 가스 농도와의 오차는 40°C까지는 1.69%로 2%이내의 우수한 특성을 보였으며 50°C에서 5.72%의 변화를 보였다.

CO₂ 표준가스 3,000ppm에 대한 측정결과에서도 온도에 따라서 %오차는 상온 20°C에서는 0.18%였으며 50°C에서는 최대 7.36%까지 증가하였다.

산소의 작업 안전 규정범위는 18% ~ 23.5% VOL이다. 그림 10은 O₂ 표준가스 25% VOL에 대한 측정 결과의 그래프이다. 전기화학식 센서의 경우 온도변화에 거의 무관하게 안정된 결과를 보였으며 센서에 따른 차이도 없었다.

상온 20°C에서는 표준값과 차이는 최대 0.002%이내, 퍼센트 오차는 0.008%의 안정된 결과를 나타내었다.

표 2에 따르면 시제품의 표준편차도 0.02% 이내로

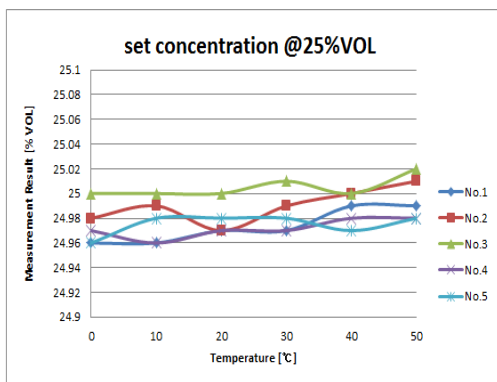


그림 10. 온도 변화에 따른 산소 농도 측정 결과 (@25% VOL)
Fig. 10. Measurement result of O₂ concentration with temperature variation (@ 25% VOL)

표 2. 산소 농도 평균값, 표준편차 및 %오차 (@ 25% VOL)
Table 2. Average value, standard variation and % error of O₂ concentration (@ 25% VOL)

O ₂ concentration 25%			
Temperature	Average value [ppm]	Standard deviation [ppm]	% error
0°C	24.974	0.0167	-0.024
10°C	24.978	0.0179	-0.008
20°C	24.978	0.0130	-0.008
30°C	24.984	0.0167	0.0160
40°C	24.988	0.0130	0.0320
50°C	24.996	0.0182	0.0640

제품에 따른 차이는 거의 없었으며 전기화학식 센서를 사용하는 다른 가스인 H₂S의 경우도 표준가스 100ppm에서 상온 20°C에서는 표준값과 차이는 최대 0.4ppm, 표준편차도 1.14%로 안정된 결과를 나타내었다.

5종류의 가스에 대한 온도 변화에 대한 정확도는 표 3과 같다. 온도변화 0°C ~ 50°C의 범위에서 CO₂, CO 및 H₂S의 경우 정확도는 ±3% 이내를 만족하였으며 HC는 ±1%LEL, O₂의 경우 ±0.5%이내를 모두 만족하였다. 따라서 본 연구의 결과는 저온 및 고온의 광범위한 측정환경에서 정확도를 가진 휴대용 가스 측정장치로 활용이 가능하다.

표 3. 측정 가스의 농도 정확도
Table 3. Accuracy of the measured gases

Gas	Method	Accuracy	Working safety range
CO ₂	NDIR	±3%	<1500ppm
CO	NDIR	±3%	<25ppm
HC	NDIR	±1%LEL	<10%LEL
O ₂	Electro chemical	±0.5% vol	18%~23.5%
H ₂ S	Electro chemical	±3%	<10ppm

IV. 가스측정 앱 설계 및 구현

그림 11은 복합 유해가스 센서 모듈을 이용한 측정 과정 위한 흐름도이다. 스마트폰을 이용한 복합유해가스 센싱 방법은 스마트폰과 복합유해가스 모듈을 접속하는 단계, 센싱된 복합유해가스를 분석 및 가공하는 단계, 분석 및 가공된 복합유해가스 정보 데이터를

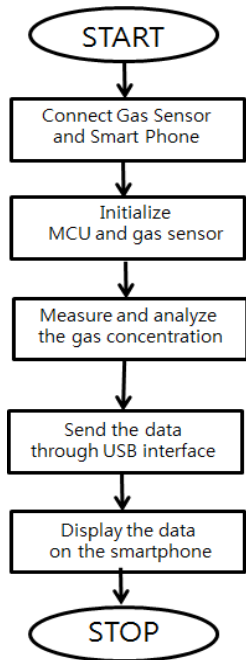


그림 11. 가스 측정 흐름도
Fig. 11. Flow chart for gas measurement

스마트폰으로 전송하는 단계 및 스마트폰에서 전송된 복합유해가스 정보 데이터를 휴대단말기의 표시부에 표시하는 단계를 거친다.

안드로이드 기반의 휴대단말기를 활용하여 보다 편리한 복합 유해가스 측정 환경을 제공하며 설정 값에 따른 경보, 문자 메시지 알람 등 다양한 응용을 제공하기 위한 앱으로 설계 되었다.



그림 12. 안드로이드 앱 프로그램 (a)메인화면 (b)알람 팝업
Fig. 12. Android app program (a) main display (b) alarm pop-up display

휴대단말기에서는 그림 12.(a)와 같이 주 화면은 전송된 복합유해가스 정보 데이터를 디스플레이에 표시하고, 그림 12.(b)처럼 유해가스 측정 범위 기준에 따라 알람 및 경고 문자가 발송될 수 있도록 구현하였다.

경보 발생 시 경보 문자 메시지 전송 및 경보 팝업창 도출 기능이 있으며, 알람 팝업창은 확인 버튼 클릭 전까지는 1분 동안 알람을 유지하며, 알람 발생 항목의 측정 수치가 정상 수치로 측정될 시 알람이 멈추게 된다.

그 외의 구성으로는 그림 13과 같이 휴대단말기 내의 데이터 저장은 사용자가 설정한 데이터 요청 시간에 맞도록 휴대단말기의 앱에서 복합유해가스 모듈로 그림 13과 같이 데이터 프로토콜 형식에 맞게 데이터를 요청하면, 요청된 데이터는 메인 화면에 표시되는 동시에 휴대단말기내에 엑셀 데이터 형식에 맞게 저장되어, 추후 데이터 이력을 확인 할 수 있도록 하였다.

W	시작코드 1byte	Length 1byte	명령구분 1byte	Data nbyte	Checksum 1byte	종료코드 2byte	비고
시작명령 (Phone->device)	0x02	0x07	0x43 'C'	0x53 'S'	0x0F	0x00 0x0A	Command Start
시작명령 응답 (Device->Phone)	0x02	0x07	0x41 'A'	0x53 'S'	0x0D	0x00 0x0A	Answer Start
종료명령 (Phone->Device)	0x02	0x07	0x43 'C'	0x45 'E'	0x01	0x00 0x0A	Command End
종료명령 응답 (Device->Phone)	0x02	0x07	0x41 'A'	0x45 'E'	0x0F	0x00 0x0A	Answer End
데이터 요구명령 (Phone->Device)	0x02	0x07	0x43 'C'	0x44 'D'	0x00	0x00 0x0A	Command Data
데이터 응답 (Device->Phone)	0x02	0x0E	0x44 'D'	참조	각위 1byte	0x00 0x0A	Data

장소	구분	종류 byte	단위
참조	이산화탄소	0xFFFF	0 ~ 5000 ppm
	일산화탄소	0xFFFF	0 ~ 500 ppm
	황화수소	0xFF	0 ~ 100 % LEL
	산소	0xFF	0 ~ 25.0 % vol
	황화수소	0xFF	0 ~ 150 ppm
메타리	0xFF	0 ~ 100 %	

Length : 전송하는 중 데이터 수
Checksum : 시작코드 + Length + 명령구분 + Data = 뒤위 1 byte

그림 13. 휴대단말기 앱 사이의 통신 프로토콜
Fig. 13. Communication Protocol in the application of the mobile device

V. 결 론

본 연구에서는 산업현장, 재난현장 및 지하시설물의 밀폐공간에서 주요 유해가스인 이산화탄소(CO₂), 일산화탄소(CO), 황화수소(H₂S), 탄화수소(HC)와 생존에 필요한 산소(O₂)를 동시에 검출이 가능한 가스 측정 장치를 개발하였다. CO₂, CO, HC 가스는 광도 파관을 사용하는 NDIR방식으로 O₂와 H₂S는 전기화학방식으로 측정하도록 설계하였다.

기존의 가스 검출 측정장치에서 많은 부분을 차지하던 센서 데이터의 표시나 입력 장치, 휴대장치에서 문제가 되는 전원부를 배제하고, 제안된 논문에서는 저전력 설계를 바탕으로 작은 사이즈를 만족하였으며, 측정 장치와 스마트폰 사이의 인터페이스를 구현하였

다는 장점과 또한 휴대용이면서도 넓은 온도범위에서도 오차범위가 최대 $\pm 3\%$ 이내를 만족한 점은 매우 우수하다.

측정된 센서 데이터를 스마트폰에서 표시할 수 있는 앱을 설계하여 센싱한 가스 측정치와 다양한 주요 데이터(온도/습도)를 스마트폰으로 디스플레이 하였으며, 유해가스 경고 알람 팝업창과 문자메시지를 보내는 기능을 구현하였다.

이처럼 소형이면서도 5개의 다양한 가스를 검출할 수 있으며 다른 통신장비가 필요 없이 스마트폰과 결합하여 앱을 통한 다양한 기능을 가진 복합유해가스 측정장치는 다양한 산업현장 및 건물 내부등 공기질 모니터링이 필요한 다양한 곳에서 활용될 수 있을 것으로 기대되며, 향후 데이터 로깅 및 중앙 관제 센터 전송 등 데이터 수집 관련된 기능은 추후에 더 개발이 필요할 것이다.

References

- [1] S. Choi, N. Kim, H. Cha, and R. Ha, "Micro sensor node for air pollutant monitoring: Hardware and software issues," *Sensors*, vol. 9, no. 10, pp. 7970-7987, 2009.
- [2] Q. Tan, L. Tang, M. Yang, C. Xue, W. Zhang, J. Liu, and J. Xiong, "Three-gas detection system with IR optical sensor based on NDIR technology," *Optics and Lasers in Eng.*, vol. 74, pp. 103-108, 2015.
- [3] L. Fonseca, R. Rubio, J. Santander, C. Calaza, N. Sabaté, P. Ivanov, E. Figueras, I. Gràcia, C. Cané, S. Udina, M. Moreno, and S. Marco, "Qualitative and quantitative substance discrimination using CMOS compatible non-specific NDIR microarray," *Sensors and Actuators*, vol. 141, no. 2, pp. 396-403, 2009.
- [4] L. June, T. Qiulin, Z. Wendong, X. Chenyang, G. Tao, and X. Jijun, "Miniature low-power IR monitor for methane detection," *Measurement*, vol. 44, pp. 823-831, 2011.
- [5] J. W. Kwon, J. C. Kim, G. S. Kim, and H. S. Kim, "Air quality monitor system using NDIR-CO₂ sensor for underground space based wireless sensor network," *J. IEK*, vol. 46-SC, no. 4, pp. 28-38, Jul. 2009.
- [6] Q. L. Tan, W. D. Zhang, C. Y. Xue, J. J. Xiong, Y. C. Ma, and F. Wen, "Design of mini-multi-gas monitoring system based on IR absorption," *Optics & Laser Technol.*, vol. 40, pp. 703-710, 2008.
- [7] D. Gibson and C. MacGregor, "A novel solid state non-dispersive infrared CO₂ gas sensor compatible with wireless and portable deployment," *Sensors*, vol. 13, no. 6, pp. 7079-7103, Basel, Switzerland, 2013.
- [8] D. Garcia-Romeo, H. Fuentes, N. Medrano, B. Calvo, P. A. Martinez, and C. Azcona, "A NDIR-based CO₂ monitor system for wireless sensor networks," *2012 IEEE Third LASCAS*, pp. 1-4, Feb.-Mar. 2012.
- [9] J. H. Kim and C. J. Lee, "Low power NDIR CO₂ sensor using LED light source with a smart device interface," *J. KICS*, vol. 40, no. 8, pp. 1606-1612, Aug. 2015.
- [10] C. Chen, F. Tsow, K. D. Campbell, R. Iglesias, E. Forzani, and N. Tao, "A wireless hybrid chemical sensor for detection of environmental volatile organic compounds," *IEEE Sensors J.*, vol. 13, no. 5, pp. 1748-1755, May 2013.
- [11] A. Kumar and G. P. Hancke, "Energy efficient environment monitoring system based on the IEEE 802.15. 4 standard for low cost requirements," *IEEE Sensors J.*, vol. 14, no. 8, pp. 2557-2566, Aug. 2014.
- [12] http://www.heimannsensor.com/Datasheets/Datasheet-6-EMIR_rev1.pdf & http://www.heimannsensor.com/Datasheets/Datasheet-3a-Dual_Quad_rev2.pdf Retrieved Jul. 20, 2015, from <http://www.heimannsensor.com>
- [13] http://www.senko.co.kr/en/product/gas_sensor_03.php & http://www.senko.co.kr/en/product/gas_sensor_09.php, Retrieved Jul. 22, 2017, from <http://www.senko.co.kr>

김 종 현 (Jong-heon Kim)



1990년 6월 : 독일 Ruhr Univ.
Bochum 전자공학과 공학석사

1994년 8월 : 독일 Dortmund
Univ. 전자공학과 공학박사

2002년 1월~2007년 4월 : 캐나다 SFU Research Associate

2005년 3월~2008년 12월 : IT 국제 표준화 전문가
1995년 4월~현재 : 광운대학교 전자융합공학과 교수
<관심분야> 고효율 전력증폭기, 선형화기, 스펙트럼 공학, 마이크로파 센싱

이 찬 주 (Chan-joo Lee)



1987년 2월 : 광운대학교 전자
통신과 공학사

1989년 8월 : 광운대학교 대학
원 전자통신과 공학석사

1994년 8월 : 광운대학교 대학
원 전자통신과 공학박사

1996년 3월~1997년 2월 : 독일

RWTH Aachen 공대 Post Doctorial research
1993년 3월~현재 : 신한대학교 IT 융합공학부 교수
<관심분야> 초고주파 회로설계, 레이더 및 비콘 회로 설계, 전자파 간섭 및 측정