DBpia

논문 17-42-08-14 The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences '17-08 Vol.42 No.08
https://doi.org/10.7840/kics.2017.42.8.1591

비분산 적외선 방식을 사용한 3가지 유해 가스 검출 센서 모듈에 관한 연구

김 종 헌•, 이 찬 주°

Three - Harmful Gas Detection Sensor Module using Non-Dispersive Infrared (NDIR) Technology

Jong-heon Kim•, Chan-joo Lee°

요 약

본 연구에서는 비분산적외선 방식을 이용하여 CO_2, CO 및 CH_4 복합 가스를 동시에 측정할 수 있는 센서 모듈을 설계 및 제작하였다. 소형의 광도파관을 설계하기 위하여 최적의 광 경로를 시뮬레이션 하였다. 광 경로의 길이를 증가시키기 위하여 확산반사경과 집광반사경을 각각 설계하였다. 시뮬레이션 결과 광도파관 내에서 두 개의 반사경은 다섯 번 반사되어 최적의 광 경로 길이를 얻을 수 있었다. 광도파관내에는 단일 적외선 신호원과 동시에 4개의 적외선을 수신할 수 있는 단일 채널 센서를 사용하여 집적하였다. 복합유해가스 센서 모듈의 하드웨어 구성은 가스 측정을 위하여 구동펄스 발생부, 프리앰프와 저역통과 필터 데이터를 처리하고, 분석하는 MCU로 구성된다. 상온 20°C에서 CO_2 의 경우 표준농도 3,000ppm,에서 표준 편차 10.3ppm이었으며, CH_4 10% LEL에서 표준편차 0.13% 안정된 결과를 얻었다.

Key Words : NDIR(nondispersive infrared), CO_2 sensor, multi gas, optical waveguide

ABSTRACT

In this paper, a gas sensor module for detection of multi gas such as CO_2, CO and CH_4 is designed and fabricated using non-dispersive infrared(NDIR) technology. A small sized optical waveguide is designed by simulation of optimal optical path in the waveguide. In oder to increase optical path length, a diffusion mirror and a concentration mirror are designed, respectively. From the simulation results, five times reflections between two mirrors in the waveguide are obtained for optimum optical path length. A single IR source and four single-channel pyroelectric sensors are integrated in the optical waveguide. The gas sensor module consists of pulse driving circuit, pre-amp and LPF, including MCU for data processing and analysing. From measured results, the sensor module obtained 10.3 ppm standard deviation over 3,000ppm CO_2 concentration and 0.13% standard deviation over CH_4 10% LEL at 20°C.

※ 본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2015년도 산학연협력기술개발사업(No. C0236822)과 광운대학교 2016년도 교내학술연구비 지원에 의한 연구수행으로인 한 결과물임을 밝힙니다.
• First Author : Kwangwoon University Department of Electronics Convergence Engineering, jhkim@kw.ac.kr, 종신회원
° Corresponding Author : Shinhan University Department of IT Convergence, cjlee@shinhan.ac.kr, 종신회원
논문번호 : KICS2015-06-112, Received April 18, 2017; Revised July 28, 2017; Accepted August 7, 2017

www.dbpia.co.kr

Ⅰ. 서 론

복합 유해가스 측정기는 산업현장에서 유독성 가스, 가연성 가스 및 산소결핍 등으로 인한 재해로부터 인명과 재산을 보호하기 위하여 반드시 필요한 장치이며 특히 밀폐 공간 작업 시 각종 유해가스로 인한 질식 사망 사고는 매년 발생하고 있어서 이러한 위험 공간에서의 유해가스를 측정하기 위한 휴대용 측정 단말기는 반드시 필요한 실정이다.

일반적으로 NDIR(Non Dispersive Infrared)방식으로 알려진 가스 농도 측정방식은 가스성의 물질들이 특수한 파장에 대한 흡수 스펙트럼을 가지는 특성을 이용하여 농도를 구하는 방식이다. 각 가스의 농도에 따라서 감쇠되어 수신되는 빛의 세기를 측정하여 전기신호로 변환하여 가스의 농도를 구하는 원리이다.[1,2]

NDIR 방식의 센서들은 응답시간이 빠르고 정확도가 높으며 안정적으로 동작한다는 장점을 가지고 있어서 가스 센서의 대부분은 NDIR 방식을 사용하며, 최근 연구 결과 두 개 이상의 복합 가스를 측정에 측정하는 기능을 가지며, 다양한 무선 네트워크와 연동되는 기능을 추가하고 있다.

하나의 광 공동에서 경로를 달리하여 CO_2와 CO를 동시에 측정하는 듀얼센서가 보고되었으며[3], 동일한 광 경로에 개별적으로 4개의 검출기를 부착하여 CO_2, CO 및 CH_4을 측정할 수 있는 다중 가스 검지용 센서도 발표되었다.[4] 또한 이러한 센서들의 결과를 RF 기술과 접목하여 CAN(Controller Area Network) 버스와 무선 데이터 전송기술을 추가하여 탄광에서 가스 검지기로 사용하였으며[5], ZigBee 기술과 결합하여 IEEE 802.11.b 기반의 무선랜을 사용하여 네트워크를 구성하기도 하였다.[6] 최근에는 가스센서를 스마트폰과 결합하여, 센서출력 결과들은 스마트폰 앱을 통하여 스마트 폰의 화면에 디스플레이하고 데이터는 상용통신 네트워크를 활용하는 논문도 발표되었다.[7]

본 연구에서는 산업현장 및 재난현장의 밀폐공간에서 유해가스인 이산화탄소(CO_2), 일산화탄소(CO)과 메탄(CH_4) 을 동시에 측정이 가능한 센서 모듈을 개발하고 이 측정장치를 일반 휴대 단말기기들과 탈부착이 가능하도록 하드웨어를 설계하는 것을 목표로 하였다.

본 논문의 구성은 II장에서는 가스 센서의 기본 동작 원리를 바탕으로, 광도파관의 설계과정과 최적화된 결과를 제시하며, 주변 하드웨어 구성을 설명하였다. III장에서는 실험환경과 캘리브레이션 과정 그리고 온도변화에 따른 실험결과를 분석하여 표준편차 및 오차의 범위를 제시하여 논문의 신뢰성을 입증하였다.

Ⅱ. 가스 센서 모듈 설계 및 제작

2.1 기본 이론

본 연구에서는 CO_2, CO 및 CH_4 가스를 측정하기 위하여 NDIR(Non Dispersive Infrared) 방식의 광학적 가스 센서를 사용하였으며 NDIR 가스 센서는 긴 수명과 높은 신뢰성을 갖는 장점을 가지고 있다. NDIR 가스 센서는 가스 분자가 특정 파장의 광 적외선을 흡수하는 특성을 이용하여 가스 농도에 대한 광 흡수율을 측정하여 농도를 구하는 방식이다.

가스 분자가 특정 파장의 광만을 흡수하므로 여러 파장의 광을 가스 분자에 조사하고 이 중 가스 분자가 흡수하는 파장대의 광만을 광 필터로 걸러내는 비분산 방식을 사용하며 일반적으로 단파장의 광원으로 레이저나 LED 등을 사용하거나 백색광에서 분산 장치를 이용하여 단일 단파장의 광을 추출한다. CO_2 가스의 경우 약 4.3㎛, CO 가스는 약 4.6㎛, CH_4 가스는 약 3.3㎛ 에 해당하는 적외선을 흡수하는 것으로 알려져 있다.

광원에서 방사된 적외선이 광도파관을 따라서 이동하여 적외선 검출기에 도달할 때 가스의 농도가 높으면 흡수되는 적외선의 양이 많으므로 적외선 검출기에 검출되는 적외선 광량은 농도에 반비례하는 특성을 곡선으로 나타내고 있다. 적외선램프에서 적외선 검출기까지의 거리를 광 경로라 하며 광 경로가 길수록 적외선에 반응하는 가스 분자의 수가 많으므로 결과적으로 센서의 감도는 우수하다. 그림 1 (a)은 적외선램프로부터 방사된 적외선이 광 경로를 거쳐 검출기에 도달하는 과정을 보여준다.

특정한 파장에서 흡수가 일어나는 광도파관의 성질을 이용하여 가스의 농도를 검출하게 되고 NDIR 광센서에 적용되는 Lambert-Beer식은 식 (1)[3-5]

$$I_d = I_0 \exp^{(-KCL)} \tag{1}$$

과 같으며, 여기서 I_0[W/m^2]는 적외선 광원에서 방출되는 빛의 세기이고 I_d[W/m^2]는 적외선 검출기에서 수신되는 빛의 세기, K는 특정한 가스의 적외선 흡수계수, C는 가스의 농도, 그리고 L은 광 도파관 내에서 적외선 광원과 적외선 검출기 사이의 광 경로

www.dbpia.co.kr

(Optical path)의 길이이다. 광 경로가 길수록 적외선에 반응하는 가스 분자의 수가 많으므로 결과적으로 센서의 감도가 우수해 진다. 그러나 광 경로를 길게 하는 경우 가스센서의 크기가 커지고 제작비용이 증가하는 단점이 있으므로 광 도파관 설계는 작은 사이즈를 만족하면서, 광 도파관 내에서 빛의 이동 경로를 가장 길게 설계하고, 그 빛이 광 검출기에 가능한 한 많은 양이 도달하도록 설계 하여야 한다.[4,5]

그러나 특정한 가스에서 흡수되기 전의 빛의 세기인 I_0는 시스템 감도(sensitivity)에 따라서 달라지며, 직접 측정하기가 매우 어려우므로 그림 1 (b)와 같이 2 채널 검출 방식을 이용하여 I_0에 무관하게 구하는 방식을 사용한다. 기준 채널에서는 측정하고자 하는 가스의 농도에 상관없이 기준 채널로 들어오는 빛의 양은 일정하므로 일정한 전압을 출력하게 되고, 측정 채널에서는 측정하고자 하는 복합가스 각각의 농도가 증가할 경우 측정 채널로 들어오는 빛의 양이 감소하게 되고 그로 인해 측정 채널에서 출력되는 전압은 감소하게 된다. 그러므로 두 채널에서 출력되는 전압을 비교함으로써 수광부와 발광부 사이를 흐르는 복합 유해가스 각각의 농도를 측정하게 된다.

그림 1(b)에서 하나는 측정하고자 하는 가스의 응답(Act) 채널이며, 출력전압은 측정하고자 하는 파장의 빛의 세기에 비례하므로 식 (2)와 같이

$$V_{act} = k_1 I_0 \exp^{(-KCL)} \tag{2}$$

표현하여 가스의 농도를 알 수 있으며, 여기서 k_1은 비례계수이다.

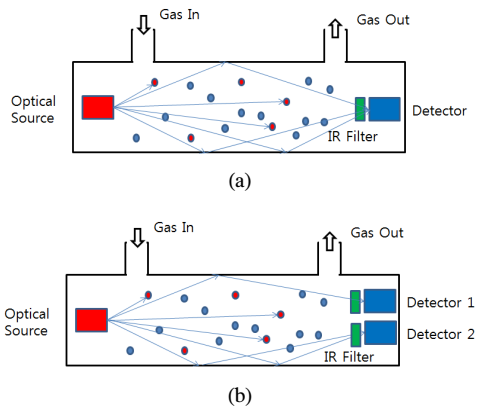


그림 1. 광도파관 개념도 (a) 단일 신호원과 검출기 (b) 단일 신호원과 2개의 검출기
Fig. 1. Schematic of optical waveguide (a) single source and single detector (b) single source and dual detector

또 다른 채널은 측정하는 가스와 관계가 없는 파장을 측정하는 기준(Ref)채널로 빛의 세기에 비례하는 전압은

$$V_{ref} = k_2 I_0 \tag{3}$$

로 나타내고, 마찬가지로 k_2은 비례계수이다.

빛의 세기인 I_0를 정확하게 측정하는 것이 매우 어려운 일이므로 이 영향을 무시하고 식(2)와 식(3)의 비례관계를 이용하여

$$\frac{V_{act}}{V_{ref}} = \frac{k_1}{k_2} \exp^{(-KCL)} \tag{4}$$

정리하고, 다시 가스 농도 C를 구하면,

$$C = \frac{-1}{KL}(\ln V_{act} - \ln V_{ref} + \ln k_2 - \ln k_1) \tag{5}$$

이며, 여기서 K와 L은 상수이며, $\ln k_2 - \ln k_1$은 캘리브레이션 과정에서 보상하게 된다.

두 채널에서 검출기를 사용하는 방식에서 가스 농도를 표현하는 식은

$$C = \frac{-1}{KL}(\ln \frac{V_{act}}{V_{ref}} + \ln \frac{k_2}{k_1}) \tag{6}$$

로, 일차방정식 $y = ax + b$ 의 형태와 비교하면, y 는 가스의 농도, x 는 각 가스 농도에 비례하는 전압 비의 로그의 값이며, a와 b는 시스템의 스케일 파라미터로 두 전압의 차이로부터 농도를 구할 수 있다.

2.2 광도파관의 설계 및 제작

본 연구에서는 데이터 북에서 제공된 광원과 광 검출기의 구조를 바탕으로, 광 도파관내에서의 최적 광경로를 시뮬레이션 하였다. 최적의 광 도파관은 입사된 광이 다양한 각도로 반사되어 나아갈 수 있도록 반사경을 설계하여야 한다. 이때 반사회수를 높일 수 있는 구조가 필요하며 이를 위한 반사경의 각도설정이 중요하다.

그림 2와 같이 광원과 광 검출기가 같은 면에 설치되고, 그림과 같이 2개의 반사경을 설치하여 빛이 광

www.dbpia.co.kr

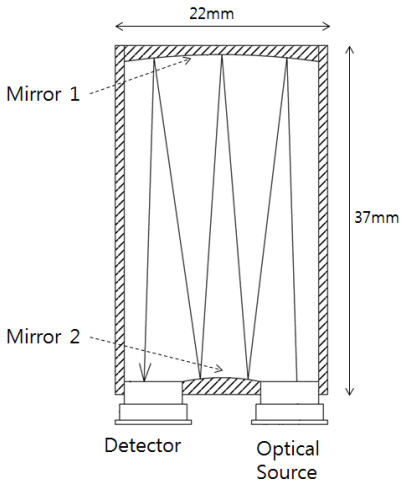


그림 2. 최적화된 광도파관 구조
Fig. 2. Schematic of proposed optical waveguide

원으로부터 입사하면 반사경 1 - 2 - 1 - 2 - 1을 통하여 5번 반사되어 검출기에 도달하도록 설계하였다. 반사 횟수를 높일 수 있는 구조를 위하여 반사경의 각도 설정이 중요하며 반사면 1은 도파관 수평면과 5°를 유지하고, 반사면 2는 도파관의 수평면과 동일한 각을 유지하도록 설계하였다.

다양한 시뮬레이션을 통하여 제작이 용이하고 효율적인 센싱이 가능한 광 도파관을 최적화하였다. 광 도파관은 광이 유입되는 입구와, 입구를 통해 유입된 광이 이동하는 도파공간과 도파공간을 통해 전파된 광이 배출되는 출구를 가지는 몸체를 포함하며, 몸체의 도파공간에는 입구로 유입된 광을 집광하는 각도로 반사하는 집광반사면과 집광반사면에서 반사되어 전파되는 광을 유입 받아 확산하는 각도로 집광반사면 방향을 반사하도록 된 확산반사면이 구비되어 집광반사면과 확산반사면을 통해 반사되어 전파되는 광은 점차 상기 출구 측 방향으로 이동하면서 전파되도록 하였다. 이때 오목거울인 집광반사경(mirror 1)과 볼록거울인 확산반사경(mirror2)을 통해 반사되어 전파되는 광은 점차 출구 측 방향으로 이동하면서 전파되도록 설계하여야 한다. 여기서 광도파관의 구조는 그림 2와 같이 길이는 37mm, 광도파관의 넓이는 22mm로 설정하였다. 최종적으로 집광반사경의 초점은 25mm로 설정하였고 확산반사경의 초점은 22mm로 설정하였다.

그림 3 (a)와 같이 입사된 광은 5번의 반사를 하면서, 그림 3 (b)처럼 광도파관의 90 % 공간을 커버한 후에 출력 단에서 집광되어 검출기에 도달한다. 1W 광원 입력 시 약 0.62W의 출력을 검출하여 62%의 효율을 얻었으며 광도파관에서 센싱된 광 감도 출력은 그림 4과 같으며 4개의 검출기에서 모두 고려하여 최적의 감도를 갖도록 설계하였다.

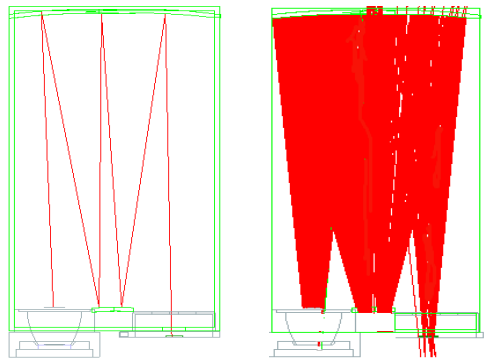


그림 3. 광도파관의 시뮬레이션 결과: (a) 단일 광 경로, (b) 다중 광 경로
Fig. 3. Simulation results of the optical waveguide (a) single optical path, (b) multiple optical path

NDIR 가스 센서의 광원으로는 Heimann Sensor사의 EMIRS200을 사용하였으며, EMIRS200은 광대역 IR 방사 특성을 갖으며 빠른 방열 특성과 넓은 변조주파수 대역, 저 전력 소모, 장시간의 안정성 그리고 콤팩트한 패키지 등의 우수한 특성을 가지고 있다.

적외선 검출기로는 Heimann Sensor사의 HTS Q21 Thermopile 센서 소자를 사용하였다. HTS Q21 센서 소자는 4개의 독립된 센서 칩들로 구성되어 있어서 다중 채널 가스 농도를 측정하기에 적합하다. 따라서 세 가지의 서로 다른 가스들을 측정하였으며, 나머지 한 채널은 기준 채널로 사용하였다.[8]

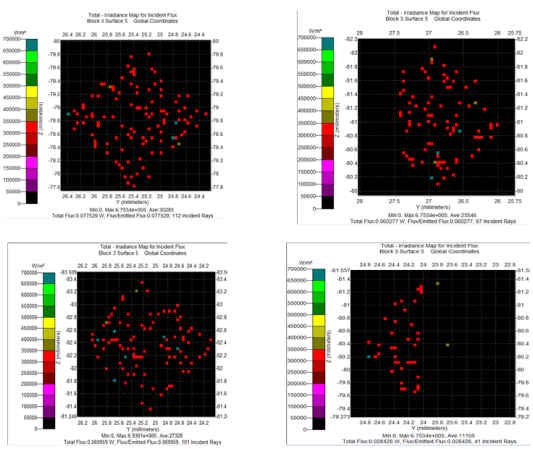


그림 4. 검출된 적외선의 강도의 시뮬레이션 결과
Fig. 4. Simulation results of detected IR ray intensity

www.dbpia.co.kr

2.3 하드웨어 설계

복합유해가스 센서 모듈의 하드웨어는 그림 5와 같이 가스 측정을 위하여 구동펄스를 발생시켜주는 광센서 구동부, 광 도파관 및 센서 측정부로 구성되어 있으면, 수신된 파형은 프리앰프와 저역통과 필터를 통과한다. MCU에서 데이터를 처리하고 , 분석하여, 인터페이스를 통하여 데이터를 디스플레이로 전송하고, 전원 공급 및 내장 배터리 충전을 제어한다.

전원을 제어하는 전원 제어부에서는 내장된 배터리의 용량을 측정하고, 외부 DC 커넥터 및 USB를 통하여 충전을 제어하며, 복합 유해가스 측정 장치 구동 전원의 안정적인 공급을 담당한다.

안정적인 전원을 공급받은 복합 유해가스 측정 장치는 MCU에서 센서 데이터 수집 프로세서 및 데이터 처리 알고리즘에 따라 적외선 신호원을 구동하여 NDIR 방식의 CO_2, CO과 CH_4 가스를 감지하고 분석한다.

각각의 총 4가지 센서의 NDIR 광센서 회로에서 출력된 펄스는 수 mV의 작은 값을 비반전 증폭기(OPamp)를 통하여 일정하고 안정된 전압으로 증폭하고 증폭된 전압은 최종적으로 LPF(Low Pass Filter)를 거쳐 각종 노이즈를 제거하여, 원하는 신호만을 CPU 입력으로 받도록 설계하였다.

그림 6(a)는 광센서 구동회로의 구동 주파수 파형으로 3Hz 50% 듀티로 입력 펄스를 측정하였으며, 그림 6(b)는 NDIR 출력 파형이 프리앰프와 LPF를 거쳐서 직접 CPU로 입력되는 전압파형으로 상단의 노란색 파형은 Ref. 파형이며, 그 아래는 순차적으로 CO_2, CO과 CH_4 가스의 측정 전압 을 나타낸다.

그림 7은 최종 제작된 광도판관 센서 모듈의 구조이다. 광 도파관은 반사효율을 최대로 하고 부식을 방지하기 위하여 특수도금 처리를 하였다. 복합 유해 가스 센서 모듈을 제어하기 위해 신호 변환 및 온도보상, NDIR 처리 알고리즘, USB 통신 등을 내장할 수 있는 ARM의 Cortex-M3 프로세서 기반의 STM32F105 MCU을 사용하였다

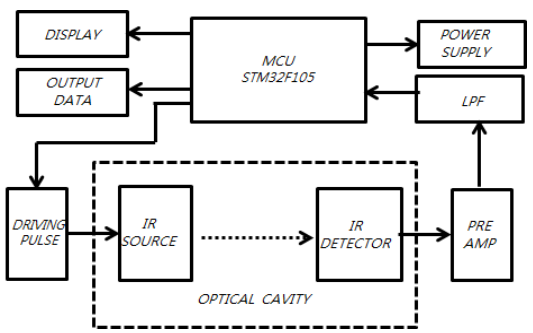
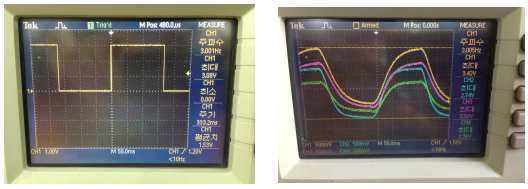


그림 5. 센서 모듈의 블록도
Fig. 5. Block diagram of the sensor module



(a) (b)

그림 6. 센서 측정 파형 (a) 구동 펄스 (b) 검출된 파형
Fig. 6. Measured Sensor waveform (a) Driving input pulse (b) Detected output pulses

그림 7. 제작된 가스 센서 모듈의 사진
Fig. 7. Photograph of the fabricated gas sensor module

Ⅲ. 실험 및 농도 측정

3.1 실험환경 및 캘리브레이션

복합유해가스 측정 실험은 그림 8과 같이 표준가스의 효율적인 공급 및 온도 안정화를 위하여 항온조 내에서 실시되었다. 도파관 내에 감지 속도 향상을 위한 가스 유입 기구물을 이용하였고, 가스 공급 전에 항온조 온도를 상온 20℃로 약 1시간 정도 유지한 후 온도 안정화를 우선적으로 유지하였으며, RS-485 통신을 이용하여 PC 운영 프로그램으로 실험하였다.

예를 들어 CO_2 농도별 0ppm(질소 가스 공급), 1000ppm, 2000ppm 및 3000ppm 가스 공급에 따라 NDIR 기본 특성에 따른 광도파관 흡광도의 차이에

그림 8. 센서 모듈의 캘리브레이션 시험 장치
Fig. 8. Experimental setup for calibration of the sensor modules

www.dbpia.co.kr

의하여 ADC의 디지털 값으로 추출되어 그림 9와 같이 파형이 변화함을 확인 할 수 있다. 그림 9는 CPU로 입력된 전압값을 실질적으로 나타낸 파형으로 800개의 샘플링 데이터, 즉 약 한 사이클 주기의 파형을 ADC 2^{12}인 4096개의 디지털 값만을 추출하여 그래프로 나타내었다.

12bit의 ADC를 가지는 STM32F105 CPU에서 ADC(Analog-to-Digital Converter) 설정 값을 4.5㎒ 239.5cycle로 프로그램 하여 800개의 데이터(약 800×56㎲ = 44.8㎳ 소요)를 추출하여, 평균값을 계산 후 데이터를 취득한다.

교정(Calibration)은 가스 농도에 대한 전기 신호의 변화 상호 간의 상관관계를 도출하여 미지의 농도에 대해 전기 신호량을 측정하여 농도로 환산하는 과정으로 일반적으로 기준 가스 농도에 대한 전압신호를 도출하여 상관관계를 도출한다.

NDIR 방식의 가스 농도 추출 방식은 CO_2, CO와 CH_4 각 가스의 Zero/Span Value를 선정한 후 온도별 3-point 데이터를 추출하여 데이터를 기준으로 Curve-Fitting 프로그램을 이용하여 공식을 도출하고, 임의 출력 전압에 대해 역함수로 농도를 환산하는 함수방식(Function Method)의 교정 방법이 사용되었다. [1,9]

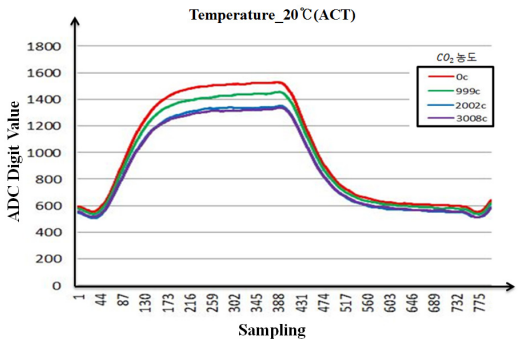


그림 9. CO_2 농도변화에 따른 ADC 값
Fig. 9. ADC value with CO_2 concentration variation

3.2 온도변화에 따른 신뢰성 실험

본 논문에서는 신뢰성 입증을 위하여 한 번에 챔버에서 동시 측정 가능한 총 다섯 개의 샘플 모듈을 제작하였으며, CO_2 의 경우는 표준 가스 1,500ppm과 3,000ppm을 각각 주입하고 온도를 0°C에서 50°C까지 변화시키면서 정확도를 측정하였다.

그림 10은 CO_2 표준가스 1,500ppm에 대한 측정 결과의 그래프이며 다섯 개의 샘플의 평균 그래프이

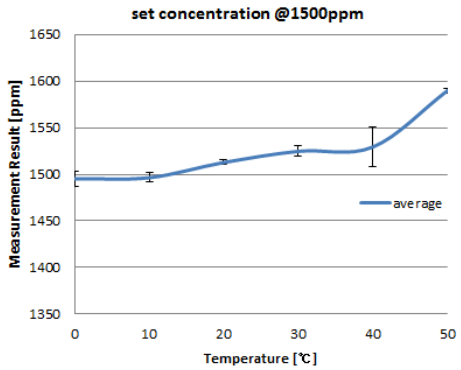


그림 10. 온도 변화에 따른 이산화탄소 농도 측정 결과 (@1,500ppm)
Fig. 10. Measurement result of CO_2 concentration with temperature variation(@1,500ppm)

며 세로의 오차막대는 표준편차의 범위이다. 전체적으로 온도가 상승하면 오차의 범위는 증가하였으며 상온 20°C에서는 표준값과의 차이는 최대 20ppm, 표준편차 5.16ppm 이내였으며 퍼센트 오차는 0.58%의 안정된 결과를 나타내었다.

그림 11는 표준가스 3,000ppm를 주입한 경우의 측정 오차의 그래프이다. 상온 20°C에서는 표준값과의 차이는 최대 12ppm, 표준편차 5.16ppm 이내였으며 퍼센트 오차는 0.18%의 안정된 결과를 보였다. 30°C에서는 모듈에 따른 표준편차의 범위가±38ppm으로 샘플에 따른 변화가 심하였으며 표준농도와 비교하여 오차의 범위는 1.55%였다. 그림 10과 비교하여 볼 때 온도의 증가에 따라서 오차는 증가하였으며, 1,500ppm과 3,000ppm과 비교한 경우 높은 농도에서 상대적으로 오차는 증가하는 것으로 확인 되었다.

CH_4의 경우 측정범위가 5% VOL은 100% LEL (Lower Explosive Limit)에 해당하므로 10% LEL을 기준 농도로 측정한 경우 전체 오차의 범위는 -2.6%

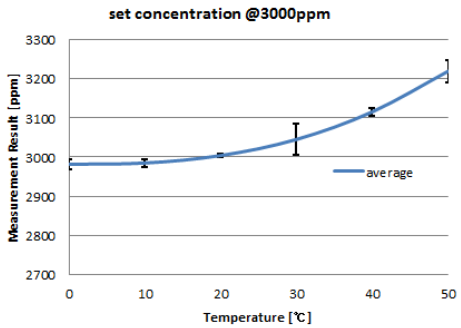


그림 11. 온도 변화에 따른 이산화탄소 농도 측정 결과 (@3,0000ppm)
Fig. 11. Measurement result of CO_2 concentration with temperature variation(@3,000ppm)

www.dbpia.co.kr

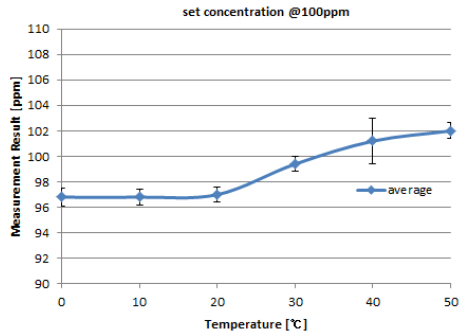


그림 12. 온도 변화에 따른 일산화탄소 농도 측정 결과 (@100ppm)
Fig. 12. Measurement result of CO concentration with temperature variation(@100ppm)

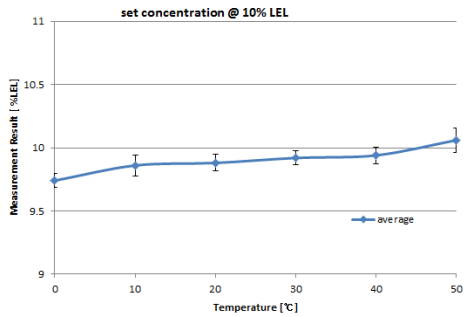


그림 13. 온도 변화에 따른 메탄 농도 측정 결과 (@10% LEL)
Fig. 13. Measurement result of CH_4 concentration with temperature variation(@10% LEL)

에서 +0.6% 범위 내에 있었으며 50°C에서 최대 표준편차 0.19였다.

Ⅳ. 결과 분석 및 검토

온도에 따른 오차의 증가원인은 일반적으로 포토다이오드를 사용하는 검출기의 경우 20°C이하의 낮은 온도에서는 존슨잡음의 영향이 크고, 경우 20°C이상의 높은 온도에서는 암전류(dark current)의 영향이 큰 것으로 알려져 있다[1]. 아래의 표 1은 상온 20°C에서 CO_2 표준농도 1,500ppm과 3,000ppm, CO 100ppm 및 CH_4 10% LEL에서 표준편차를 보여준다. 표준편차가 가장 큰 경우는 CH_4 10% LEL에서 0.13 (±0.65%)으로 매우 안정된 결과를 얻었다.

표 1. 상온(@20 ºC)에서 측정된 표준편차와 표준농도의 비교
Table 1. Comparison of standard deviation for CO_2, CO and CH_4 concentration levels at room temperature(@20ºC)

Standard concentration (@20ºC)	Standard Deviation(±%)
CO_2 1,500ppm	5.2 (±0.17%)
CO_2 3,000ppm	10.3 (±0.17%)
CO 100ppm	1.22 (±0.61%)
CH_4 10% LEL	0.13 (±0.65%)

Ⅴ. 결 론

본 논문에서는 비분산 적외선 (NDIR) 방식을 사용하여, 산업현장 및 재난현장의 밀폐공간에서 유해가스인 이산화탄소(CO_2), 일산화탄소(CO)와 메탄(CH_4)을 동시에 측정이 가능한 측정장치를 개발하였다. 최적의 광 경로 설계를 위하여 구조 설계용 시뮬레이터를 이용하여 광도파관 내에서 빛의 이동 경로를 가장 길게 설계하고, 그 빛이 적외선 검출기에 정확히 도달하게 제작하였다. 두 개의 반사경을 사용하여 총 5회의 반사 경로를 통하여 긴 경로가 가능하게 하였다. 또한 소형 광도파관을 사용하면서도 하나의 광원과 하나의 4개의 독립적이 칩이 포함된 멀티채널 센서를 사용하여 소형화를 가능하게 하였다 .

복합유해가스 센서 모듈의 하드웨어는 가스 측정을 위한 광센서 구동부 및 센서 측정부, 전원 공급 및 내장 배터리 충전을 위한 전원부, 데이터 센싱, 분석, 가공을 위한 제어부, 데이터 전송을 위한 인터페이스부로 구성되었다.

최종 제작된 5개의 센서는 캘리브레이션 후에 0°C에서 50°C까지 10°C 간격으로 온도에 노출, 온도 적응 유지 시간 이후에 3가지 가스를 공급 후 측정결과는 상온 20°C에서 CO_2 의 경우 표준농도 3,000ppm, 에서 표준 편차 10.3ppm, CH_4의 경우 최대 표준편차 0.13% 였다.

저전력, 소형화된 센서 개발은 그 동안 고 소비전력 문제로 어려웠던 휴대용 측정기분야에 다양한 센서모듈의 교환이 가능해져 활용도가 높은 여러 가지 가스 측정 기술분야에 활용이 가능할 할 것이다.

References

[1] D. Gibson and C. MacGregor, “A novel solid state non-dispersive infrared CO_2 gas sensor compatible with wireless and portable deployment,” *Sensors*, vol. 13, no. 6, pp. 7079 -7103, Basel, Switzerland, 2013.

[2] S. H. Yi, J. S. Park, and J. M. Park, “Temperature compensation of Novel NDIR

www.dbpia.co.kr

CO_2 sensor," *IEEE Sensors 2006*, pp. 1373-1376, Daegu, Korea, Oct. 2006.

[3] G. S. Kim, J. T. Oh, H. S. Kim, and J. C. Kim, "A study on CO2 sensor module using NDIR method," *J. IEEK*, vol. 46-SC, no. 2, pp. 132-136, Mar. 2009.

[4] 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.,* 74, pp. 103-108, 2015.

[5] Q. L. Tan, W. D. Zhang, C. Y. Xuea, 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.

[6] 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. IEEK*, vol. 46-SC, no. 4, pp. 28-38, Jul. 2009.

[7] 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.

[8] http://www.heimannsensor.com/Datasheets/Datasheet-6-EMIR_rev1.pdf & http://www.heimannsensor.com/Datasheets/Datasheet-3a-Dual_Quad_rev2.pdf Retrieved July, 20, 2015, from http://ww.heimannsensor.com

[9] *Application Note NDIR - Measurement*, Retrieved Jul. 20, 2015, from http://www.heimannsensor.com/AppNotes/Application%20Note%20NDIR%20R3.pdf

김 종 헌 (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 전자통신과 공학사

1989년 8월 : 광운대학교 대학원 전자통신과 공학석사

1994년 8월 : 광운대학교 대학원 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

www.dbpia.co.kr