

ASIC 칩 내장형 비분산 적외선 이산화탄소 가스센서의 온도보상

박 종선, 조 희찬, 이 승환
국립 충주대학교 기계공학과

Temperature Compensation of NDIR CO₂ Gas Sensor implemented with ASIC Chip

JongSeon Park, HeeChan Cho and SeungHwan Yi

Department of Mechanical Engineering, Chungju National University, Chungju,
Chungbuk 380-702, Korea

Abstract

This paper describes NDIR CO₂ gas sensor that shows the characteristics of temperature compensation. It consists of novel optical cavity that has two elliptical mirrors and a thermopile detector that includes ASIC chip in the same metal package for the amplification of detector output voltage and temperature sensor. The newly developed sensor modules shows high accuracy (less than +/- 40 ppm) throughout the measuring concentration of CO₂ gas from 0 ppm to 2,000 ppm. After implementing the calculation methods of gas concentration, which is based upon the experimental results, the sensor module shows high accuracy less than +/- 5 ppm error throughout the measuring temperature range (15 °C to 35 °C) and gas concentrations.

1. 서론

최근 화석연료의 소비 증가로 대기 오염과 이산화탄소의 배출은 날로 증가 일로에 있으며, 대기 오염의 주된 요인은 자동차(냉각제 가스, 일산화탄소, 이산화탄소, 질소 산화물)와 산업현장인 공장에서 발생되고 있다. 대기 오염을 저감하는 능동적인 방법 중, 자동차 분야에서는 Hybrid 자동차나 전기 자동차의 보급을 들 수 있으며, 산업 부분에서는 배출가스의 정화장치를 통한 저감기술의 확대라 볼 수 있다. 대기 오염 가스 중 이산화탄소는 지구온난화를 발생시킬 뿐만 아니라, 적절한 환기 부족에 따라 이산화탄소의 농도가 5,000 ppm 이상일 때 인체의 피로 증상을 유발하는 것으로 알려져 있다. 따라서 최근 정부에서는 에너지 절감 및 대중 보건의 차원에서 전열교환기의 설치를 의무화하고 있으며, 유럽연합(European Union)은 화석 연료를 사용하는 난방기에 이산화탄소 가스 센서 모듈 장착을 의무화하여 시행하고 있는 실정이다. 따라서 최적의 상태에 전열교환기와 같은 HVAC (Heat, Ventilation & Air Conditioning) 시스템을 운용하기 위해

서는 실시간으로 공기 질을 감시할 수 있는 이산화탄소 센서의 요구가 증대되고 있다.

일반적으로 이산화탄소 농도를 측정하는 방법에는 두 가지가 있다. 첫 번째는 비분산 적외선 방식을 이용하는 것이고, 두 번째는 고체 전해질 방식을 사용하는 것이다[1]. 고체 전해질 방식은 비분산 적외선보다 저가이나, 비분산 적외선 방식은 장기 안정성, 높은 정확성, 그리고 낮은 전력소비의 이점이 있다. 게다가 비분산 적외선 방식은 측정 대상가스가 특정 파장의 적외선을 흡수하는 광학적 원리를 사용함으로써 높은 선택성과 감도가 우수한 특성을 지니고 있다. 비분산 적외선 방식을 이용한 이산화탄소 가스센서는 Fabry-Perot 필터[2], 두 개의 오목거울[3,4]과 실리콘 써모파일을 이용하고 있다. 그러나 써모파일의 출력 전압은 온도의 변화에 따른 출력 특성의 변화가 유발되기 때문에 온도 보상에 따른 출력 전압의 보상은 정확한 이산화탄소의 농도 측정을 위하여 매우 중요하다.

본 논문에서는 두 개의 오목거울로 제작된 비분산 적외선 가스 센서를 위한 새로운 광 공동 구조의 모의해석과 이산화탄소 농도를 측정하기 위해 새롭게 설계된 센서의 실험 결과를 제시 하였으며, 온도 변화에 따른 출력 전압의 자기 온도보상 방법에 대해서 살펴보고자 하였다.

2. 광공동 설계 및 시뮬레이션결과

일반적으로 비분산 적외선 가스 센서 모듈은 크게 네 개의 광 공동 구조를 이용하여 제작 사용되고 있다. 첫째 하나의 적외선(Infra-Red light) 광원과 검출기가 정사각형 또는 원형의 광 공동을 사용한 구조[5], 두 번째는 적외선 램프의 열화를 보상할 목적으로 두 개의 적외선 소스와 하나의 검출기를 사용한 구조가 있다[6,7]. 세 번째는 측정 가스의 파장을 선택하기 위한 Fabry-Perot 필터[2]와 광 공동으로 원형 튜브를 사용한 것, 마지막으로 작은 공동 안에서 광 경로를 증가시키기 위한 세 개의 오목 거울 구조를 사용한 적외선 센서 모듈이다[8].

본 연구에서는 세계특허로 등록된 대표적인 광 공동 구조[8]를 조사하여, 독창적인 구조를 제안하고자 하였다. 전술한 광 공동은 반지름이 다른 세 개의 원을 사용한 것으로 파악되었으며, 이를 응용하여 그림 1에 제시한 고유한 광 공동을 설계할 수 있었다[3]. 그림 1 a)에 제시한 바와같이 평행하게 조사된 적외선은 광 공동의 벽면에 다섯 번 반사되어 왼쪽 중간 지점에 적외선이 도달함을 확인할 수 있다. 그림 1의 (a)는 약 210mm 의 광 경로를 갖음을 보여 주고 있으며, 그림 1의 (b)는 써모파일 검출기 표면에 도착하는 적외선 분포를 보여주는데, 아주 균일하게 도달함을 알 수 있다. 이때 약 610 mW의 전력에 의해 발생된 적외선은 광 공동 내부에서 다섯 번 반사되어 센서 전면에 입사되는 단위시간당 에너지는 약 520 mW로 감소되는 것으로 해석되었다. 그림 1의 (c)는 시뮬레이션 결과를 기초로 개발된 이산화탄소 센서 모듈을 보여 주고 있다.

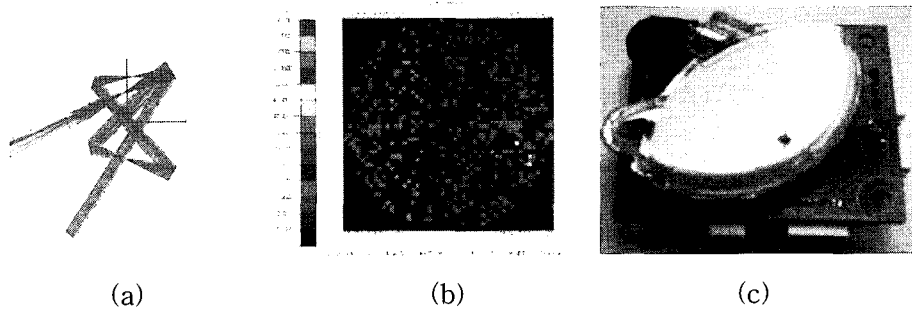


그림 1. 새로운 비분산 적외선 이산화탄소 가스 센서: (a)광 경로의 시뮬레이션 결과, (b) 써모파일 센서 표면에서의 적외선 분포, (c) 개발된 이산화탄소 가스 센서 모듈

3. 센서 제작 및 실험 방법

시뮬레이션 결과 기반으로 새로운 센서 모듈을 설계 제작하였다. 본 연구에서 제작한 센서 모듈은 네 개의 주요 구성요소를 가지고 있다. 1) IR 소스, 새로운 공동 그리고 ASIC 칩을 포함하는 적외선 센서의 가스 센서, 2) IR 펄스 조절 부분 3) 자기 온도 보상을 위한 차동 증폭 회로, 4) 신호 조절, 계산 그리고 데이터 정리를 위한 MCU (Micro-Controller Unit)이다.

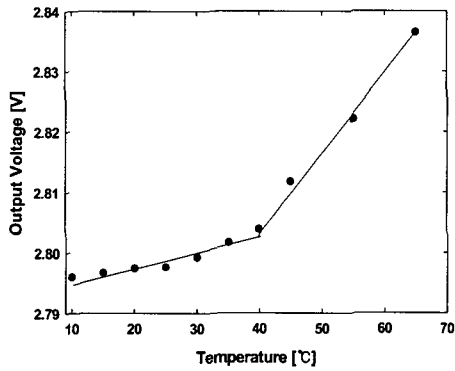
그림 1의 (c)는 위의 네가지 주요한 부분으로 구성된 새로운 비분산 적외선 가스 센서 모듈의 사진이다. 첫 번째는 적외선 광선 조절 부분으로 램프의 펄스 조절 주기는 350ms 동안 켜져 있고, 5초 동안 꺼져 있게 하였다. 두 번째는 그림 1의 (a)와 (c)에서 보여주는 것처럼 이 연구를 위해 설계된 광 공동 구조이다. 세 번째는 차동 증폭기로 써모파일의 출력 전압과 선형적 출력 특성을 가진 온도 센서의 출력 전압을 차동 증폭한 것이다. 써모파일 출력 전압 역시 주변 온도에 의존한다. 따라서 두 출력 전압은 온도 특성을 계산하기 위해 중요하기 때문에 MCU에서 신호를 계산하기 위한 측정 데이터 값을 받았다. 차동 증폭된 써모파일 출력 값과 온도 센서의 출력 값 두 출력 값은 모니터에 표시가 되며, RS 485통신 포트로 컴퓨터에 배치된 폴더 안에 저장이 된다. 이 데이터들은 온도 특성들을 계산하거나, 센서 모듈을 심도있게 고찰하기 위한 것들이다.

PCB 위에 각 부분을 조립한 후, 가스 챔버 안에 센서모듈을 넣고 실험을 하였다. 가스 농도를 정확하게 관찰하기 위해 챔버에 광음향 다중 가스 분석기(photo-acoustic multi-gas analyzer)를 연결하였으며, MFC(Mass Flow Controller)는 메인 컴퓨터를 통해 0 ppm에서 2,000 ppm 까지 250 ppm 간격으로 이산화탄소의 농도를 변화시켜 조절하며 센서모듈의 특성을 측정하였다.

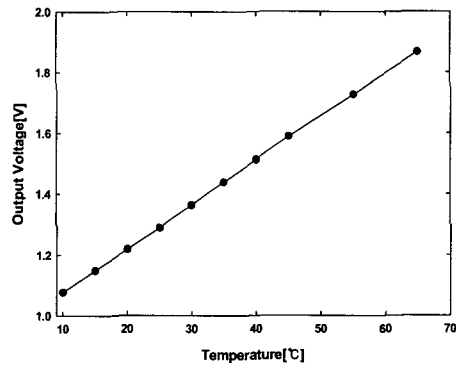
4. 실험 결과

그림 2는 개발된 센서 모듈의 온도 특성을 보여준다. 그림 2의 (a)에서는 차

동 증폭된 출력 전압이 두개의 다른 구간을 가진다는 것을 볼 수 있다. 하나는 10℃에서 40℃이고, 다른 하나는 40℃에서 60℃ 온도 구간이다. 첫 번째 구간에서 거의 2.79V의 거의 비슷한 출력 전압을 보여주고, 이 구간의 전압의 차는 약 8mV이다. 그러나 두 번째 구간에서는 2.80V에서 2.84V의 출력 전압의 큰 변화를 볼 수 있다. 우리는 본 연구에서 두 번째 온도 구간에서는 분석을 하지 않았다. 왜냐하면 본 비분산 적외선 센서가 가전분야에서 사용되는 경우, 그 동작 온도는 10℃에서 40℃ 사이라고 가정했기 때문이다. 그림 2 (b)는 주변 온도에 따른 온도 센서의 출력 전압을 보여준다. 여기서 볼 수 있듯이 온도센서의 출력 전압은 선형적 특성을 지니며 약 14.4mV/℃의 감도특성을 가지고 있음을 알 수 있다.



(a)



(b)

그림. 2. 센서 모듈의 온도 특성: (a) 차동 증폭된 써모파일 출력(이산화탄소 농도 = 0 ppm), (b)온도 센서의 출력 전압.

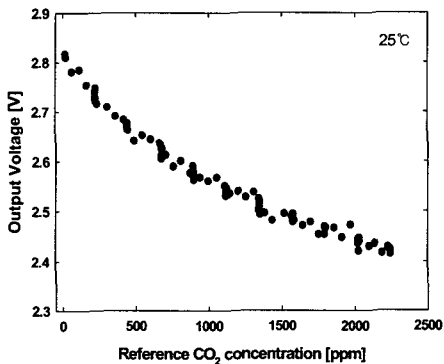


그림. 3. 이산화탄소 농도에 따른 차동 증폭된 써모파일의 출력 전압.

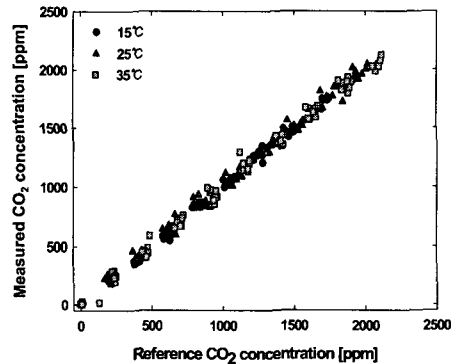


그림. 4. 측정된 이산화탄소 농도 VS. 주변 온도의 파라미터 reference 이산화탄소 농도.

그림 3은 25℃에서 이산화탄소 농도에 의한 차동 증폭된 써모파일의 출력 전압 특성을 나타낸 것이다. 센서 모듈의 출력전압은 이산화탄소의 농도가 증가함

에 따라 지수함수적으로 감소하는 특성을 나타내었다. 이산화탄소 농도변화에 따른 출력전압의 변화를 살펴봄으로써 센서모듈의 응답시간을 얻을 수 있었고, 측정된 이산화탄소 센서의 응답시간은 120 초 보다 작게 나왔다

개발된 센서 모듈의 온도 특성을 얻기 위해 그림 4에서 보여주는 것처럼 15℃에서 35℃를 10℃간격으로 실험을 하였다. 실험하는 동안 photo-acoustic multi-gas analyzer는 MFC를 통하여 공급되는 이산화탄소 농도를 측정하였다. 본 실험에서 동일 온도와 이산화탄소 농도에서 센서모듈을 총 8 회에 걸쳐 실험 하였으며, 이산화탄소의 주입량의 불균일성으로 인해 각 온도에서의 출력 전압과 농도는 기준(reference) 이산화탄소 농도와 비교하여 불일치하는 것처럼 보여진다. 그러나 측정된 이산화탄소의 농도는 각 온도와 농도에서 약 +/-40 ppm 보다 작은 오차를 나타내었다.

그림 3과 4에서의 실험 결과를 바탕으로, 차동 증폭된 출력 전압과 온도간의 연관성을 얻고자 하였으며, 각 온도에서 이산화탄소 농도의 변화에 따른 연관성을 본 연구를 통하여 도출할 수 있었다. 이 관계를 컴퓨터에 파일 보관한 후, 25℃에서 측정한 실험결과를 바탕으로 그림 5에서 보여주듯이 이산화탄소 농도를 계산하였다. 비록 6번째 실험 단계에서 상이한 값을 나타내었지만, 모든 실험의 결과는 각 측정에서 +/- 30 ppm보다 작은 오차를 갖으며 선형적으로 변화되는 결과를 보여주었다.

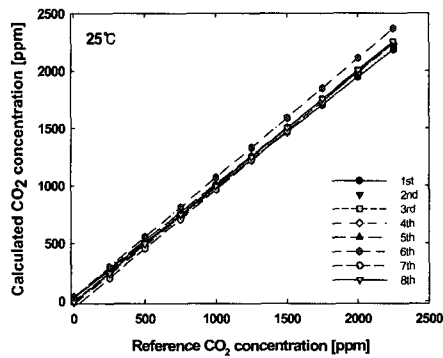


그림. 5. 계산된 이산화탄소 농도와, reference 이산화탄소 농도(25 °C).

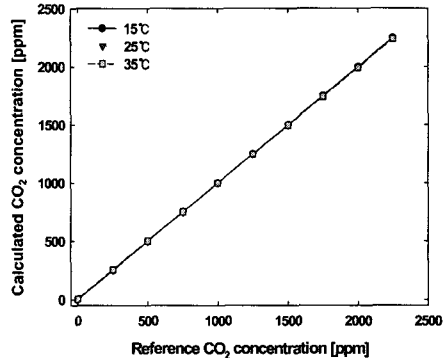


그림. 6. 온도보상을 통해 계산된 이산화탄소의 농도.

그림 6은 주변 온도를 변수로 하여 이산화탄소 농도를 계산한 후, 그 결과와 기준 농도와 비교하여 나타낸 것이다. 그림 6에서 볼 수 있듯이 15℃에서 35℃ 까지 온도 변화가 있지만 실험을 통하여 확보된 특성 인자를 통하여 계산된 이산화탄소의 농도는 온도와 무관한 결과를 나타내었으며, 모든 측정 구간에서 +/-5ppm보다 작은 오차를 갖고 있음을 확인할 수 있었다.

5. 결론

본 논문에서는 비분산 적외선 가스 센서를 위한 새로운 광 공동 구조를 설계하고, 이를 모의해석 하였다. 써모파일과 온도센서의 출력을 차동 증폭한 결과 출력은 주변 온도에 의존하는 두 개의 특성을 갖고 있음을 알 수 있었으며, 차동 증폭을 통하여 더욱더 정확한 가스 센서 모듈을 얻을 수 있었다. 제작된 이산화탄소 모듈은 이산화탄소 측정 농도 구간에서 약 +/- 40 ppm의 오차를 보였으며, 새롭게 제안된 증폭법과 보상 알고리즘을 통하여 센서 모듈은 15℃에서 35℃ 온도 구간에서 +/-5 ppm의 오차를 나타냄으로써 높은 정확성을 가진 자기 온도 보상형 센서를 제작할 수 있었다. 본 연구 결과로부터, 제작한 적외선 가스 센서 모듈은 실내의 공기 질을 감시하는 시스템에 적용 가능할 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] K. Kaneyasu, K. Otsuka, Y. Setoguchi, S. Sonoda, T. Nakahara, and I. Aso, A Carbon Dioxide Gas Sensor based on Solid Electrolyte for Air Quality, *Sensors and Actuators B*, **66**, 56-58, (2000).
- [2] M. Noro, K. Suzuki, N. Kishi, H. Hara, T. Watanabe, and H. Iwaoka, CO₂/H₂O Gas Sensor Using Tunable Fabry-Perot Filter with Wide Wavelength Range, *Tech. Digest of IEEE International Conf. on MEMS*, Kyoto, Japan, 319-322, (2003).
- [3] SeungHwan Yi, YoungHwan Park, SeungOh Han, NamKi Min, EunSok Kim, TaeHwan Ahn, Novel NDIR CO₂ Sensor for Indoor Air Quality Monitoring, *Tech. Digest of Transducers 2005, The13th International Conf. on Solid-State Sensors and Microsystems*, **2**, Seoul, Korea, 1211-1214, (2005).
- [4] JeongMin Park, Namki Min, SoonYong Kweon, and SeungHwan Yi, Novel NDIR CO₂ Sensor with Two Concave Mirrors, *Proc. of Asia-Pacific Conference of Transducers and Micro-Nano Technology 2006*, Singapore, 137-141, (2006).
- [5] J. Y. Wong, NDIR Gas Sensor, US Patent No. 5,444,249, Aug. 22, 1995.
- [6] M. Chelvayohan, Methods and Apparatus for Infrared Gas Sensing, US Patent 6,067,840, May 30, (2000).
- [7] I.Y. Park, I.K. Lee, S.K. Lee, K.M. Kang, S.W. Kang, and J.H. Cho, An implementation of NDIR CO₂ Gas Sample Chamber and Measuring Hardware for Capnograph System in Consideration of Time Response Characteristics, *J. of Korea Sensor Society*, **5** (5), 279-285, (2001).
- [8] H. Martin and E. Goran, Gas Sensor, International Patent, Patent No. WO98/09152, March 5, (1998).