

써모파일 센서를 이용한 NDIR CO₂ 가스검출기의 개발

Development of NDIR CO₂ Gas Detector Using Thermopile Sensor

조 시 형* 박 찬 원**
Cho, Si-Hyung Park, Chan-Won

Abstract

We present a novel non-dispersive infrared (NDIR) CO₂ gas sensor with a light source emitting collimated light. Using this thermopile, we also have successfully developed a small, sensitive NDIR CO₂ detector module for accurate air quality monitoring systems in energy-saving building and automotive applications. The novel sample cavity comprising specular reflectors around the light bulb is configured to uniformly emit collimated light into the entrance aperture of the cavity in order to enhance the sensitivity of NDIR CO₂ detector.

키워드 : NDIR 이산화탄소 검출기, 가스센서, 써모파일 센서
Keywords : NDIR CO₂ detector, Gas Sensor, Thermopile Sensor

1. 서론

비분산 적외선가스센서는 이산화탄소(CO₂)를 검출하기 위한 센서로 많이 사용되어 왔다. 특히 최근 에 자동차산업의 발달에 따라 보다 쾌적한 공간에서의 운전환경을 위해 자동차의 승객석 공간에서의 이산화탄소의 제어에 대한 관심이 증가 되고 있다. NDIR시스템은 적외선광원과 가스흡수공간, 적외선검출센서, 그리고 특정 흡수밴드를 갖는 광학필터로 구성된다. 실리콘 써모파일센서는 저가격, 고효율 그리고 저소비전력의 특징으로 지금까지 상용화된 NDIR센서로 많이 사용되어왔다[1][2]. NDIR센서의 감도를 증가시키기 위하여 고감도의

적외선 검출기를 사용하거나 송수광부의 광학경로(optical path)를 길게하는 구조가 요구된다.

본 연구에서는 먼저 실리콘 써모파일센서를 이산화탄소 검출기로 사용하기 위한 성능분석에 대한 실험을 수행하였다. 또한 검출기의 성능을 향상시키기 위하여 먼저 광원의 광학공간(optical cavity)에서의 광학경로를 길게 하기 위한 구조를 개발하였으며 이를 효율적으로 이용하기 위한 광원의 반사경을 최적으로 개발하여 광도가 검출기의 광학공간에서의 초점을 유지하고 산란되지 않도록 하였다. 아울러 써모파일의 출력신호를 이산화탄소의 농도로 표시하기 위한 신호처리회로와 변환 소프트웨어를 개발하여 실용적 응용에 접근을 가하였다.

2. Optical cavity와 Optical path의 설계

그림 1은 본연구에서 개발된 NDIR센서의 단면

* 강원대학교 전기전자공학과 박사과정

** 강원대학교 전기전자공학과 교수, 공학박사, 교신저자

구조를 보여준다. 서모파일 검출기의 바로 앞에는 CO₂의 분자흡수 파장인 4.26 μ m를 통과시키기 위한 광학 필터를 설치하였다. 광원에서 방사되는 복합 파장의 광선은 광학공간으로 확산되어 들어온 CO₂ 분자와 광경로에서 만나게 되고 써모파일표면에 도달하게 되는 4.26 μ m의 적외선빛의 강도는 CO₂분자의 농도에 반비례하게 된다[3]~[5]. 공간에서의 CO₂분자의 농도가 0 이면 써모파일 수광기는 최대의 빛의 강도를 받게 되고 CO₂분자의 농도가 증가함에 따라 수광기에 도달하는 적외선의 강도는 줄어들게 될 것이다. 적외선강도와 CO₂분자의 농도의 관계는 Beer의 법칙으로부터 식 (1)과 같이 표현되는데[6][7],

$$I = I_0 e^{-\epsilon lc} \quad (1)$$

이때 I 는 검출기에 도달하는 빛의 강도이고 I₀ 는 광원으로부터 방출되는 빛의 초기 강도이다. ϵ 는 흡광계수이고 c 는 측정된 가스의 농도, l 은 광학경로의 길이를 표시한다. NDIR CO₂ 센서의 감도를 증가시키기 위해서는 식 (1)에서 큰 초기강도(I₀), 그리고 긴 광학경로 (l)을 필요로 한다.

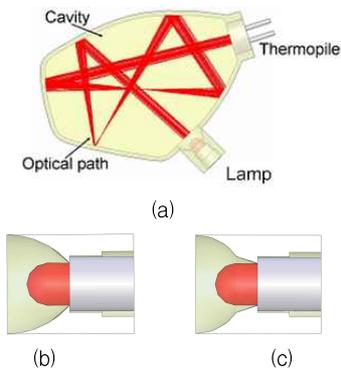


그림 1 (a) 개발된 NDIR 센서의 단면구조
(b) 기존광원의 반사경구조
(c) 본 연구 디자인의 반사경구조

보다 큰 광학효율을 얻으려면, 예를 들어 I₀ 예를 크게 할려면 반사경의 효율을 증가시켜야 하는데 기존 광원의 반사경은 그림 1의 (b)와 같이 파라볼릭형이다. 본 연구에서 새로이 디자인 한 것이 (c)의 형으로 광학시뮬레이션 결과 집속과 평행광의 효과가 약 20배정도 우수한 것으로 나타났다 [8].

3. 신호처리회로의 개발

3.1 하드웨어의 구성과 동작

그림 2는 본연구에서 개발한 NDIR CO₂ 센서의 신호처리회로의 구성도이다.

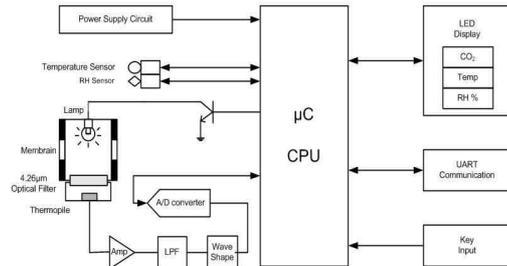


그림 2 NDIR CO₂ 센서의 신호처리회로 구성도

좌측상단의 전원부는 아날로그 시그널 컨디셔닝 회로에 공급되는 아날로그회로용 전원과 A/D컨버터 이후의 디지털회로와 CPU에 공급되는 디지털회로용 전원이 분리되어 공급되고 램프의 구동전원도 다른 회로에 영향을 최소화하기 위해 따로 분리하여 공급하였다. 시스템의 온도에 대한 안정성을 보장하기 위하여 디지털출력 온습도센서 (GE사의 ChipCap series)로 온도와 습도센서가 같은 chip상에 있고 습도오차 2%RH, 온도오차 0.6 $^{\circ}$ C의 온습도센서를 부착하여 CPU에 입력된 값을 시스템에 보상하는 방식을 구성하였다. 증폭기는 써모파일의 출력전압을 A/D 컨버터의 span범위 내에서 가장 정밀도가 확보되는 이득으로 정하였다. 본 회로에서는 써모파일의 출력을 A/D 입력 full span으로 2V정도로 맞추기 위한 증폭률 설정하였다. 저역통과기(LPF)의 cutoff frequency는 10Hz정도로 설계하였으며 이어서 신호는 펄스비분과의 DC레벨 강도로 변환하기 위한 과형정형 회로를 거쳐 A/D converter로 입력된다. A/D converter는 14bit급으로 샘플링 주파수는 100Hz 정도이다. 본 신호처리회로에 사용된 마이크로프로세서는 8bit급 one chip processor (MPC 82G516, 클럭주파수 24MHz, Megawin사, Taiwan제)를 사용하였다. 마이크로프로세서는 내부의 소프트웨어의 수행으로 A/D converter에서 받은 데이터를 처리하고 간단한 명령을 입력하기 위한 키보드입력과 정보의 표시를 위한 디스플레이출력과 양방향 통신단자를 연결 구동한다.

3.2 소프트웨어의 구성과 동작

그림 3은 신호처리프로그램의 흐름도이다. 전원 투입과 동시에 CPU와 센서(온습도센서)의 초기화 동작(칩의 데이터입출력세트)을 수행하고 키입력을 대기하고 키입력이 있으면 캘리브레이션모드의 판

단하고 센서의 캘리브레이션 동작을 처리한다. 즉, CO₂센서의 캘리브레이션 동작 (표준가스 교정작업 수행)을 처리할수 있도록 하였다.

메인프로그램은 CPU내부의 소프트웨어 타이머 인터럽트를 3가지 타이밍으로 동작시켜 각각의 인터럽트루틴을 수행하는 방식으로 구성되는데 각각의 인터럽트루틴의 수행내용은 다음과 같다.

- ① 인터럽트 I : 온습도 센서의 인터럽트타이밍으로 주기적으로 CPU로 측정 온습도 데이터 전송
- ② 인터럽트 II : 램프 on/off타이밍 동작과 A/D컨버터의 동작수행
- ③ 인터럽트 III : 외부기기와의 데이터 송수신과 제어신호의 통신데이터처리

각 센서의 입력된 데이터는 안정되지 못하고 흔들리므로 여러 개를 입력받아 평균화하는 데이터 안정 알고리즘을 수행하는 디지털 필터처리를 한다. 다음으로 CO₂의 농도를 계산하는 알고리즘을 수행하고 계산된 농도를 LED display로 표시한다. 이후 반복 루프를 수행하고 정해진 인터럽트 타이밍으로 업데이트된 디스플레이 값을 표시하도록 구성하였다.

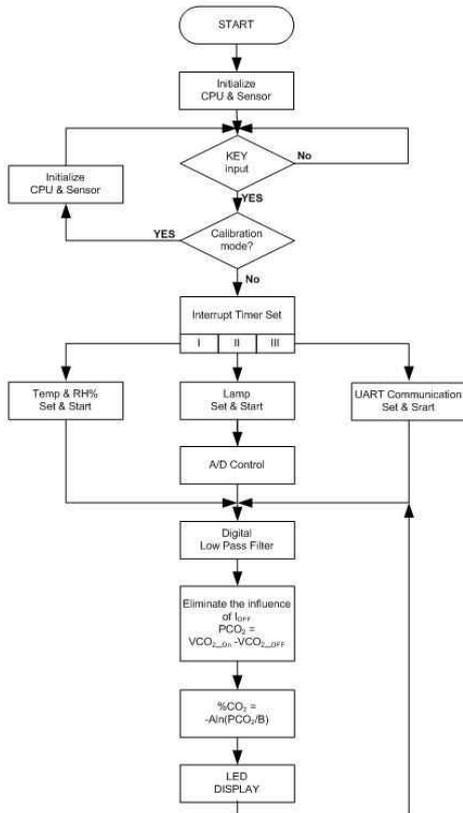


그림 3 신호처리 프로그램의 흐름도

4. 결과 및 고찰

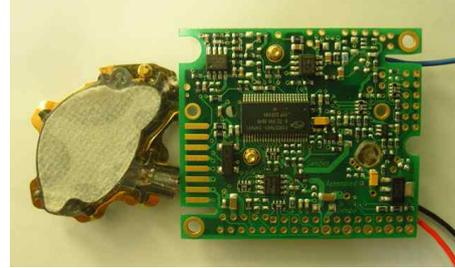


그림 4 개발된 NDIR CO₂ 가스센서모듈과 신호처리회로기판

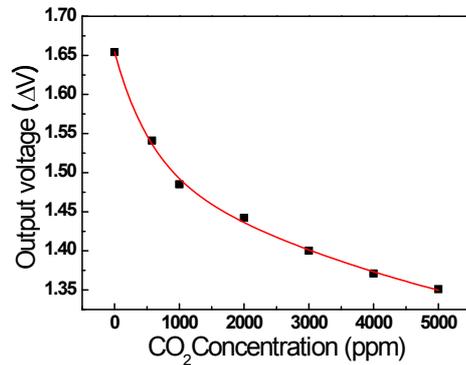


그림 5 NDIR CO₂ 센서 모듈의 출력특성

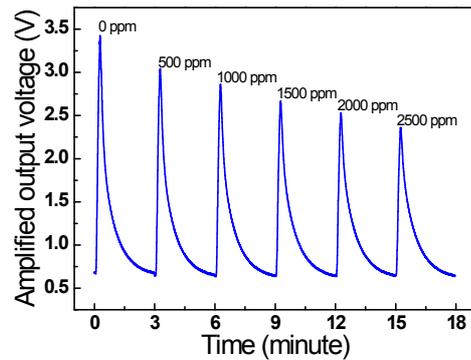


그림 6 CO₂가스 농도변화에 대한 다이내믹 응답특성

그림 4는 본 연구에서 개발된 NDIR CO₂ 가스 센서와 신호처리회로의 사진이다. 그림 5는 새로 디자인된 NDIR CO₂ 센서 모듈의 출력특성이다. CO₂ 가스 농도의 변화에 대한 출력전압이 거의 지수적으로 역비례하는 것으로 나타나 식 (1)에 근접하는 것을 보여주고 있다.

그림 6은 CO₂가스 농도변화에 대한 다이내믹 응답특성으로 본 연구에서 개발된 센서의 특성이

매우 안정적이고 응답특성과 재현성이 우수한 것을 보여 주었다.

대부분의 가스센서들은 측정치의 정밀도를 유지하기 위하여 동작온도범위에 대한 안정성이 요구된다. 그림 7은 온도변화에 따른 NDIR CO₂ 검출기의 출력특성으로서 본 연구에서 제작된 센서모듈은 -20°C 에서 60°C 범위 에서 측정된 정밀도는 ±5% 이상으로서 우수한 정밀도를 유지하는 것으로 나타났다. 그림 7의 (a)와 (b)에서 각각의 측정 온도에서 0에서 5000ppm 의 변화를 보여주었으며 비교를 위하여 다른 기존 상용제품의 평가도 함께 표시하였다. 모든 샘플을 같은 조건하에서 평가하였으며 측정결과 본 연구에서 고안된 샘플이 가장 우수한 것으로 평가되었다[9]~[11].

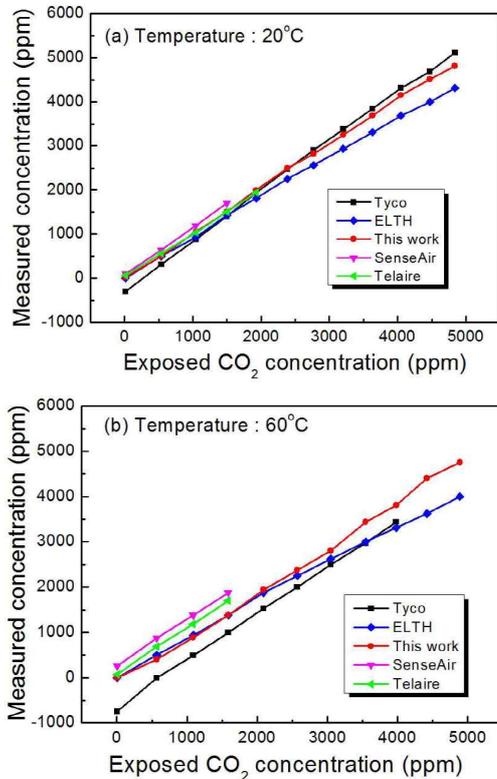


그림 7 온도변화에 따른 NDIR CO₂ 검출기의 출력특성

5. 결론

서모파일 센서를 이용한 NDIR CO₂ 가스검출기를 개발하기 위하여 센서모듈의 광학공간과 최적의 광경로를 구성하여 고안하고 반사경의 구조를 변경하였다. 또한 마이크로프로세서가 탑재된 센서

모듈화를 위하여 신호처리회로와 이의 구동을 위한 소프트웨어를 개발하였다. 본 연구에서 고안한 반사경의 구조변경은 광경로를 연장시켜 기존의 타제품보다 센서감도를 획기적으로 증가 시켰으며 제작 후 실험결과 효율과 응답특성 그리고 온도에 대한 안정성 등에서 우수한 성능을 보였으며 단일 체로 실용적 응용이 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] A. Graf, M. Arndt, M. Sauer and G. Gerlach, "Review of micromachined thermopiles for infrared detection", *Meas. Sci. Technol.* vol.18, pp.R59 - R75, 2007.
- [2] A. Grafa, M. Arndta and G. Gerlachb, "Seebeck's effect in micromachined thermopiles", *Proc. Estonian Acad. Sci. Eng.*, vol.13, pp. 338 - 353, 2007.
- [3] M. P. Thompson, J. R. Troxell, M. E. Murray, C. M. Thrush, and J. V. Mantese, "Infrared absorber for pyroelectric detectors", *J. Vac. Sci. Technol. A* vol. 25, pp. 437-440, May/June 2007.
- [4] M. Boutchich, K. Ziouche, M. Ait-Hammouda, Yala, P. Godts and D. Leclercq, "2005 Package-free infrared micro sensor using polysilicon thermopile", *Sens. Actuators A* 121:52 - 58.
- [5] A.D. Parsons and D.J. Pedder, "Thin-film infrared absorber structures for advanced thermal detectors", *J. Vac. Sci. Technol.A*, vol.6, pp. 1686-1689, 1988.
- [6] K.C.Liddiard, "Application of interferometric enhancement to self-absorbing thin film thermal IR detectors," *Infrared Physics*, vol.34, pp. 379-387, 1993.
- [7] A. Roncaglia, F. Mancarella, and G.C. Cardinali, "CMOS-compatible fabrication of thermopiles with high sensitivity in the 3 - 5 μ m atmospheric window", *Sensors and Actuators B*, vol. 125, pp.214 - 223, 2007.
- [8] K P Yoo, and N K Min, "Fabrication, characterization, and application of a MEMS thermopile for non-dispersive infrared gas sensors", *Measurement Science and Technology*, 22, pp.115206+10, 2011.
- [9] Thermopile S25. Datasheet, Dexter, www.dexterresearch.com
- [10] Thermopile MLX90247. Datasheet, Melexis Microelectronic Systems, www.melexis.com
- [11] Thermopile TPS535. Datasheet, PerkinElmer, www.perkinelmer