

## 비분산 적외선 이산화탄소 센서의 온도 보상

박정민, 박영환, 이승환, 박정익\*

충주대학교, ELT 부설연구소\*

### Temperature Compensation of NDIR CO<sub>2</sub> Gas Sensor

Jung-Min Park, Young-Hwan Park, Seung-Hwan Yi, Jeong-Ik Park\*

E-mail:isaac\_yi@chungju.ac.kr

Chungju National Univ, ELT Lab.\*

**Abstract :** 본 논문에서는 두 개의 오목 반사경으로 형성된 광 공동 구조의 비분산 적외선(NDIR) 가스센서를 제작하였다. 증폭비는 18,000배, 램프 off 시간은 3초로 일정하게 하고 펄스 modulation 시간을 200ms에서 600ms까지 변화시켰을 때, 300ms에서 가장 효율적인 출력신호를 확보할 수 있었다. 그리고 5℃에서 45℃까지 10℃ 간격으로 온도를 변화시키면서 이산화탄소의 농도를 0ppm에서 2000ppm까지 증가시켰다. 이때, 약 400mV의 전압변화가 있었다. 온도가 상승함에 따라 0ppm에서의 출력전압은 감소하는 양상을 나타내었다. 또한 온도변화 대비 출력특성과의 상관성 해석을 통하여 온도 보상 방법을 고안하였으며, 본 연구에서 제작한 센서모듈의 응답시간은 약 30초였다.

**Key Words :** NDIR Gas Sensor, Temperature Compensation, Optical Cavity, Elliptical mirrors

### 1. 서론

이산화탄소 가스 농도를 측정하기 위한 센서로는 고체 전해질 형과 비분산 적외선(NonDispersive InfraRed)을 이용한 가스센서가 있다. 비록 고체 전해질 형이 저렴하나, 적외선 가스센서에 비해 장기 신뢰성, 감도 특성 및 정확성이 결여되어 있는 단점을 지니고 있다. 적외선을 이용한 가스센서의 특징은 고유한 흡수 파장을 이용함으로써, 다른 가스에 대한 간섭을 배제할 수 있음으로 선택성이 우수하고 저 전력이라는 장점을 가진다.

적외선 가스센서는 단일 광원에서 두 개의 광 공동(Optical Cavity) 사용한 시스템과 단일 광원의 단일 광 공동을 사용한 시스템으로 분류된다. 근래의 휴대용 또는 소형 가스센서모듈의 설계 관점은 단일광원 단일 광 공동이기 때문에 그 점에서 새로운 광 공동을 설계·제작하였다. 이들 광 공동 구조는 식 1)에서 제시한 Beer-Lambert 공식에서도 알 수 있듯이, 긴 광 경로( $l$ )는 적은 가스 농도( $x$ )의 변화에 민감한 센서 특성을 확보할 수 있을 뿐만 아니라 다른 부품 없이 저가의 센서 제작이 가능하다는 큰 장점을 지니고 있다.

$$I_d = I_o \cdot e^{-axl} \text{----- 식 1)}$$

$I_o$  : 광원에서 방출되는 광 강도(W/cm<sup>2</sup>)

$I_d$  : 적외선 센서부에서의 광 강도(W/cm<sup>2</sup>)

$a$  : 특정 가스의 적외선 흡수 계수,  $x$  : 가스 농도(ppm)

$l$  : 광 공동내의 광원과 센서 간 광 경로 길이(m)

본 연구에서는 온도에 따른 시스템 특성과 광 공동이 방출하는 적외선으로 인해 광 흡수율이 변화하는 추이를 살펴보고, 이에 따른 온도보상 방법을 연구하였다.

### 2. 실험

본 논문에서는 광의 경로를 길게 하여서 빠른 응답을 가지면서 정확성과 감도가 좋은 공동(Cavity)을 채택하였고 센서 모듈제작에 두 개의 상용제품을 이용하였는데, 첫 번째로 Gilway Technical Lamp사의 T-1 Lamps(1150-9A)모델이다. 이 램프는 방사되는 광의 피크파장이 대략 0.9 $\mu$ m인 특성을 갖는다. 한편 평행광을 확보하기 위해 포울 반사경을 사용하였다. 두 번째로는 국내 GE Thermometrics Technologies사의 ZTP-315 제품을 일반 필터 대신 이산화탄소의 흡수 파장인 4.26 $\mu$ m를 중심으로 20nm 반치폭을 갖는 필터로 대체한 적외선 가스센서를 사용하였다.

본 연구에서 개발된 모듈은 크게 3가지의 주요부로 나누어진다. 첫 번째는 적외선 광원의 조절부로서 적외선이 방출되는 시간을 300ms로 하고, 센서의 출력전압 안정화를 기하고 램프의 수명시간의 연장을 위해 3초간 램프에 인가되는 전원을 차단시켰다. 두 번째는 독자 개발한 광 공동 부분이고, 마지막은 증폭부로서 증폭비는 조절 가능하나 본 실험에는 약18,000배를 기준으로 하여 출력전압을 측정하였다.

연구에 사용한 센서 모듈은 이산화탄소의 농도를 0ppm에서부터 2500ppm까지 증가시킬 수 있는 가스 챔버(chamber) 내에서 측정하였고, 가스 챔버는 온도( $\pm 0.2^\circ\text{C}$ )와 습도( $\pm 3\% \text{RH}$ )를 조절 할 수 있는 항온·항습기 내에 설치되어있다.

### 3. 결과 및 검토

그림 1은 25℃에서 이산화탄소를 500ppm씩 주입하면서 출력 전압의 변화량( $\Delta V$ )을 나타낸 것이다. 0ppm에서 2000ppm까지 전압은 약 420mV정도 변화하는 것을 알 수 있다. 그리고 응답시간은 초기 안정된 출력전압에서 가스의 주입 후 초기 출력전압의 63%변화에 이르는 시간으로 30초 이하로 측정되었다.

한편 온도를 5℃에서 45℃까지 10℃간격으로 변화 시키면서, 0ppm에서 2000ppm까지 이산화탄소를 주입하면서 농도가 증가함에 따라 그 출력의 변화를 측정해서 기록했다.

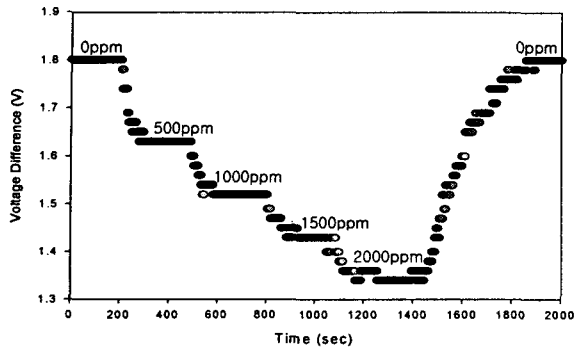


그림 1. 이산화탄소 농도에 따른 센서 특성 출력(@25℃)

그림 2는 5도에서 45도까지 10도 온도를 변화시키며 0 ppm에서 2000 ppm까지 아산화탄소 가스를 주입 시 농도에 따른 전압 출력 (ΔV) 특성을 나타낸 것이다.

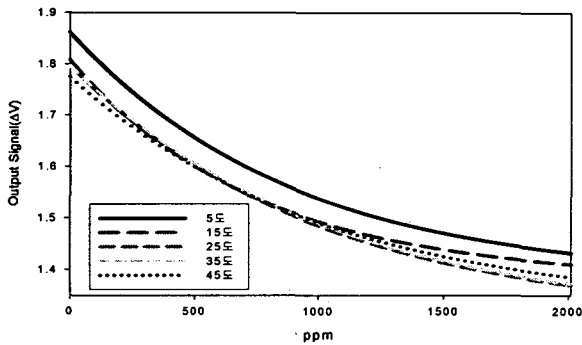


그림 2. 온도별 출력특성

실험결과로부터 각 온도별 출력 전압을 근사 함수 식 2)에 의해서 나타내었다.

$$y = y_0 + ae^{-bx} \quad \text{----- 식 2)}$$

$y_0$  : 시스템이 가지는 고유의 값

$a$  : 온도에 따른 센서의 특성 값

$b$  : 온도에 따른 가스 흡수계수,  $x$  : 가스 농도(ppm)

$x$ 를 0으로 놓고 온도를 변화시켰더니  $\Delta V$ 가 변화하였다. 이것은  $a$ 값의 변화를 의미하여 GE사의 ZTP-315의 사양상의 특성 곡선을 보면 25℃를 중심으로 변화하는 3차 함수로 표현되어 있다. 이것은 Seebeck 계수가 갖는 특성으로 추정된다.  $y_0 + a$ 값을 온도에 대해 피팅하였다.

그림 3은 온도에 따른  $y_0 + a$ 의 값을 3차 함수  $f_{y_0+a}(T) = A + BT + CT^2 + DT^3$  로 근사화한 것이다.

각각의 변수 값은  $A = 1.7893$ ,  $B = 1.2553 \times 10^{-4}$ ,  $C = 4.438 \times 10^{-5}$ ,  $D = -7.58 \times 10^{-6}$  이다. 추정된 것과 같이 변곡점 25℃를 중심으로 변화하는 그래프로 표현되었다. 여기서  $a$ 는 Seebeck 계수와 동일한 패턴의 함수로 결론 내릴 수 있다.

이 피팅 함수를 식 2)에 대입함으로써 출력의 특성을 온도에 따라 보상할 수 있다는 걸 확인하였다.

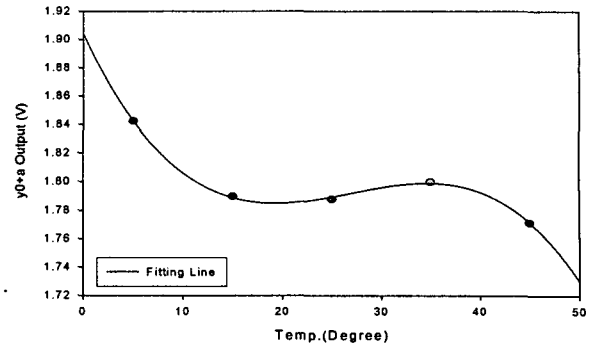


그림 3. 온도에 따른  $y_0 + a$  특성 곡선

#### 4. 결론

본 연구에서는 이산화탄소 가스 측정을 위한 두 개의 오목한 반사경을 가진 광 공동을 설계하고, 비분산 적외선 가스센서 모듈을 제작하였다. 이산화탄소 농도를 증가시키면서 Beer-Lambert 공식을 확인하였고, 이를 근거로 하여 농도에 따른 출력 값에 대한 근사 함수를 도출하였다.

각 계수 중  $a$ 값은 센서 출력의 온도특성을 갖는 변수임을 확인하였다. 이는 센서 제조사에서 제공하는 센서의 온도에 따른 편차로부터 발생하는 온도특성 값으로 센서의 Seebeck 계수와 관련이 있다. 또한 이러한 온도 특성은 비분산 적외선 가스센서 개발 시 온도 보상 값으로 고려해야 할 것이다.

#### 감사의 글

본 연구의 실험을 같이 진행하고 있는 서경원, 정경식 학생과 후배님들, (주) ELT 지원에 감사드립니다.

#### 참고 문헌

- [1] K. Kaneyasu et al., "A carbon dioxide gas sensor based on solid electrolyte for air quality control", Sensors and Actuators B, vol.66, pp.56-58, 2000
- [2] J.Y. Wong, "NDIR Gas Sensor", US Patent Patent No. 5,444,249, Aug. 22, 1995
- [3] Mahesan Chelvayohan, "Methods and Apparatus for Infrared Gas Sensing", US Patent No. 6,067,840, May 30, 2000
- [4] I.Y. Park et al., "An implementation of NDIR type CO<sub>2</sub> gas sample chamber and measuring hardware for capnograph system in consideration of time response characteristics", Journal of Korean Sensor Society, vol. 5, no. 5, pp.279-285, 2001
- [5] Martin Hans et al., "Gas Sensor", International Patent, Patent No. WO98/09152, March 5, 1998
- [6] E. Wagner, R. Dandliker, and K. Spenner, "Sensors: volume 6 Optical Sensors", VCH press, Chapter 12, pp. 278-301, 1991