

논문 2009-46SC-2-6

비분산 적외선 방식의 CO2 센서 모듈에 관한 연구

(A Study on CO2 Sensor Module Using NDIR Method)

김 규 식*, 오 준 태*, 김 희 식*, 김 조 천**

(Gyu-Sik Kim, Joon-Tae Oh, Hie Sik Kim, and Jo-Chun Kim)

요 약

본 연구에서는 비분산 적외선 방식을 이용한 일산화탄소, 이산화탄소 듀얼 센서 모듈을 실현한다. 비분산 적외선 방식은 가스분자가 특정 파장의 적외선을 흡수하는 특성을 이용하여 가스의 적외선 흡수도를 측정하여 농도로 환산하는 방식이다. 비분산 적외선 방식은 수명이 길고 정밀도가 높아 기존의 접촉식(화학식) 센서에 비해 우수한 특성을 가지고 있다. 중요한 기술은 NDIR의 핵심 부분인 광 공동의 설계 기술과 센서의 성능을 최종 결정짓는 농도-온도 교정 기술이다. 현재까지 개발된 광 공동 기술은 CO2센서의 단일 센서 방식이었다. 본 연구에서는 이 기술을 접목한 일산화탄소까지 동시에 측정할 수 있는 광 공동기술과 교정기술을 연구 개발하여 하나의 광 공동으로 이산화탄소와 일산화탄소를 동시에 측정 할 수 있는 고기능 센서를 실현하는 것이다.

Abstract

In this paper we discuss about the practical implementation of a combined CO and CO2 dual sensor module that is adapted by NDIR (Non-Dispersive Infrared) method that measures the absorbance of gas like CO and CO2 by using gas particles' characteristics that absorb specific wave lengths of infrared ray. NDIR has a long life time, excellent measurement and precision compared to the existing contact types or chemical types of CO2 sensors. Since optical cavity technology that had been developed until now can measure CO2 only we research and develop an optimal optical cavity design and density-temperature calibration technologies that can measure CO and CO2 at the same time and is important to decide the performance of the sensor module according to well-designed wave guides of the different length.

Keywords : NDIR(Non-Dispersive Infrared), CO2, Sensor Module, Optical Cavity, Wave Guide.

I. 서 론

본 연구는 비분산 적외선(NDIR, Non-Dispersive Infrared) 방식을 적용한 보급형 일산화탄소, 이산화탄소 듀얼 센서 모듈에 관해 다룬다. 비분산 적외선 방식은 가스분자가 특정 파장의 적외선을 흡수하는 특성을

이용하여 가스의 적외선 흡수도를 측정하여 농도로 환산하는 방식이다. 비분산 적외선 방식(NDIR)은 수명이 길고 측정 정밀도면에서 우수성이 기존의 접촉식(화학식) 센서에 비해 우수한 특성을 가지고 있다. 중요한 기술은 NDIR의 핵심 부분인 광 공동(optical cavity)의 설계 기술과 센서의 성능을 최종 결정짓는 농도-온도 교정(calibration) 기술이다. NDIR 방식의 핵심 부분은 광 챔버로 광 공동(cavity)와 적외선 램프, 적외선 검출기로 구성된다. 적외선 램프에서 방사된 적외선은 적외선 검출기에 도달하는 과정에서 가스 분자에 일부 흡수된다. 가스의 농도가 높으면 흡수되는 적외선의 양이 많으므로 적외선 검출기에 검출되는 적외선 광량은 농도에 반비례 한다. 적외선 램프에서 적외선 검출기까지의 거리를 광 경로(optical path)라 하며 광 경로가 길

* 정희원, 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부
(Dept. of Electrical and Computer Engineering,
University of Seoul)

** 정희원, 건국대학교 환경공학과
(Dept. of Environmental Engineering,
Konkuk University)

※ 본 논문은 2007년도 서울시 산학연 기반기술 특정 과제(CS070160) 연구개발 지원사업의 지원으로 연구되었습니다.

접수일자: 2008년10월31일, 수정완료일: 2009년3월5일

수록 적외선에 반응하는 가스 분자의 수가 많으므로 결과적으로 센서의 감도는 우수하다. 이러한 광 경로를 길게하기 위해 적용하는 것이 광 공동이다. 현재까지 개발된 광 공동 기술은 CO2센서의 단일 센서 방식이며 본 연구에서는 이 기술을 접목한 일산화탄소까지 동시에 측정할 수 있는 광 공동기술과 교정기술을 연구/개발하여 하나의 광 공동으로 이산화탄소와 일산화탄소를 동시에 측정할 수 있는 고기능 센서모듈을 실현하는 것이다.

II. 본 론

1. CO2 & CO 듀얼 센서 모듈

현재 산업계에서 주로 사용 중인 반도체 센서는 1년 이하로 수명이 짧고 정확도가 낮기 때문에 매 6개월에서 1년 사이에 수명을 다하므로 수많은 센서들을 단기간에 교체하게 됨으로서 교체 비용이 많이 소요된다는 문제점이 있었다. 따라서 높은 정확도와 수년의 긴 수명을 가진 NDIR 센서 개발이 필요하게 되었다. 실내 환경에서 환기에 가장 많이 사용될 것으로 높은 시장 잠재력을 가지고 있는 CO2 센서와 가스 센서 중 현재 가장 많이 사용되고 있는 CO 센서를 일체형으로 함으로써 상호시너지 효과를 얻을 수 있도록 CO2 & CO 듀얼센서 개발이 절실하다. 그림 1은 NDIR 방식의 CO2 센서 모듈의 외형을 나타낸 그림이다.

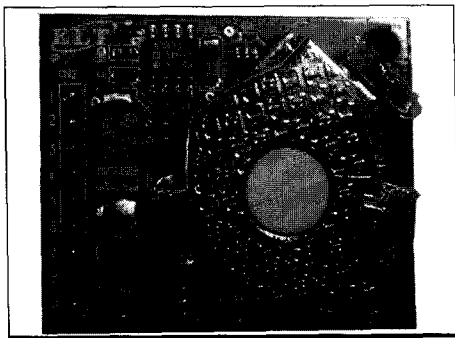
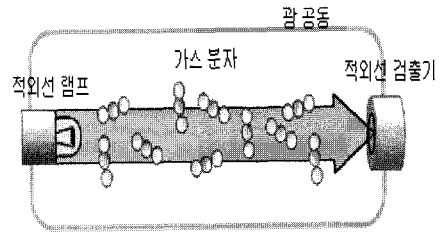


그림 1. NDIR 방식 CO2 센서 모듈
Fig. 1. NDIR type CO2 sensor module.

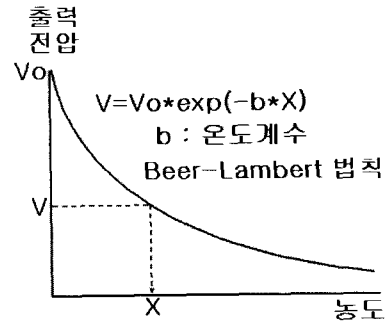
2. NDIR 센서의 원리 및 특성

가스센서는 거의 모든 산업분야와 일상생활에서 유독가스 감지 및 공기질 관리에 필요한 핵심부품이며, 특히 유비쿼터스 시대를 맞아 그 역할은 급격하게 성장해가고 있는 실정이다.

본 연구에서 다루는 기술은 비분산 적외선(NDIR,



(a) 기본 개념도



(b) 특성 곡선

그림 2. NDIR 광 챔버의 기본 개념 및 특성도
Fig. 2. Basic concept and characteristics curve of NDIR.

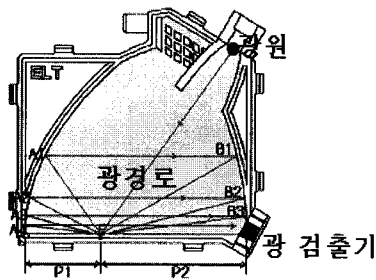
Non-Dispersive Infrared) 방식을 적용한 보급형 일산화탄소, 이산화탄소 듀얼 센서 모듈이다. 비분산 적외선 방식은 가스분자가 특정 파장의 적외선을 흡수하는 특성을 이용하여 가스의 적외선 흡수도를 측정하여 농도로 환산하는 방식이다. 비분산 적외선 방식은 장수명과 측정의 우수성이 기존의 접촉식(화학식) 센서에 비해 우수한 특성을 가지고 있다.

NDIR 이산화탄소 센서 기술을 통하여 NDIR의 핵심 부분인 광 공동(optical cavity)의 설계 기술과 센서의 성능을 최종 결정짓는 농도-온도 교정(calibration) 기술을 접목하여 일산화탄소까지 동시에 측정할 수 있는 광 공동기술과 교정기술을 개발하여 하나의 광 공동으로 이산화탄소와 일산화탄소를 동시에 측정 할 수 있는 고기능 센서 모듈을 개발하는 것이다. NDIR 방식의 핵심 부분은 광 챔버로 광 공동(cavity)과 적외선 램프, 적외선 검출기로 구성된다.

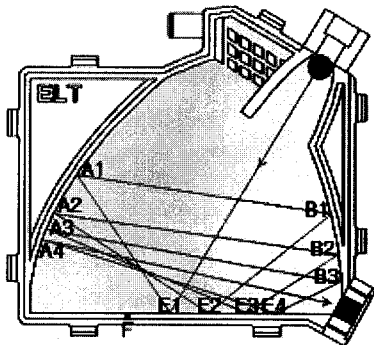
그림 2의 (a)는 적외선 램프에서 방사된 적외선이 적외선 검출기에 도달하는 과정에서 가스 분자에 일부 흡수되는 기본 개념도를 나타내고 있다. 그림 2의 (b)는 가스의 농도가 높으면 흡수되는 적외선의 양이 많으므로 적외선 검출기에 검출되는 적외선 광량은 농도에 반비례하는 특성을 곡선을 나타내고 있다. 적외선 램프에서 적외선 검출기까지의 거리를 광 경로(optical path)

라 하며 광 경로가 길수록 적외선에 반응하는 가스 분자의 수가 많으므로 결과적으로 센서의 감도는 우수하다. 이러한 광 경로를 길게 하기 위해 적용하는 것이 광 공동이다. 광 공동은 NDIR 방식 센서의 핵심 부분이다. 광 공동은 광 도파관(wave guide)의 일종으로 적외선 램프에서 방사된 적외선이 적외선 검출기에 도달하게 되는데 이때 다음의 두 가지 사항을 고려하여 설계한다. 첫 번째 광 경로는 센서의 우수한 감도 내지 분해능을 위해서는 광 경로가 길어야 한다. 특히 흡수도가 낮은 가스에 대해서는 가장 중요한 요인이다. 관건은 제한된 크기의 광 공동에 대해 광 경로를 길게 해야 한다. 즉 광 경로가 긴 경우 동일 농도 변화에 대해 전압 변화가 크므로 센서의 감도와 분해능이 좋아진다. 두 번째로 적외선 램프에서 방사된 적외선의 광 손실이 최소화 되어야 한다. 그림 2에서 볼 수듯이 광 손실이 적으면 동일 농도 변화량에 대해 전압 변화량이 크므로 센서의 감도와 분해능이 좋아진다. 결과적으로 광 공동은 집광도(focusing)가 우수해야 한다.

그림 3은 광 도파관에서 광의 경로를 나타내는 그림이다. 광 경로의 길이는 일산화탄소에 필요한 광 경로의 길이인 100[cm] 이상으로 설계가 가능하며, 광 효율



(a) 광 경로 I



(b) 광 경로 II

그림 3. 광 도파관의 구조
Fig. 3. Structure of wave guides.

성을 향상하기 위해서 하나의 광 공동을 이용하여 2광의 집광 설계기술이 사용된다.

NDIR 방식으로 일산화탄소를 검출하기 위해서는 광 경로의 길이가 약 100[cm] 이상의 장광경로 길이의 광 도파관이 설계 되어야 하며, 이산화탄소의 경우 약 10[cm]의 광 경로가 필요하게 된다.

센서 모듈의 설계과정은 첫 번째로 광원으로 비교적 가격이 저렴한 미니어처 백열등을 사용하고 광 검출기로 열전 소자를 사용하며 광 도파관을 금도금을 하여 설계한다. 두 번째로 앞 절에서 설명한 것과 같이 우수한 광 도파관을 설계하기 위해서는 두 개의 광 경로를 갖는 도파관을 설계하고 제 1 광 경로는 길이를 길게 하여 일산화탄소를 흡수하게 하며 제 2 광 경로는 길이를 짧게 하여 적외선 흡수율이 높은 가스들을 검지하도록 설계 하며 함수 방식의 교정 알고리즘을 통해서 소수의 교정 데이터로 부터 하나의 교정함수를 도출하여 센서를 교정하는 과정을 거쳐 설계하게 된다.

2. CO2 센서 모듈의 교정시험

농도와 온도 교정기술이란 출력된 전압을 농도로 환산하는 알고리즘을 도출하는 것이 농도 교정이며 보증된 구간의 온도에서 보증편차 이내의 동일한 값을 나타내야 하는 것이 온도교정으로서 센서의 최종 성능을 결정한다. 농도 교정은 표준시료의 농도와 측정치의 출력값을 비교하여 센서의 출력치를 교정한다. 이러한 출력 전압과 농도 간의 상관관계를 함수 형태 또는 데이터 테이블 형태로 구해 센서의 CPU에 저장하여 구동시킨다. NDIR 방식은 온도에 상당한 영향을 받는다. 또한, 이러한 온도와의 상관관계를 함수형태 또는 데이터 테이블 형태로 센서의 CPU에 저장하여 구동시킨다.

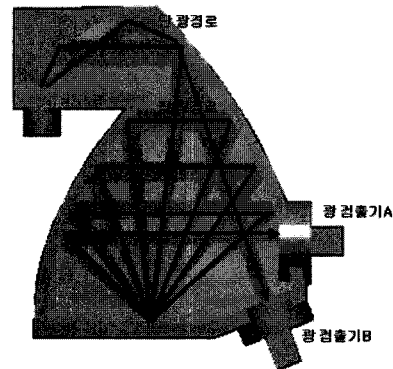


그림 4. 듀얼 센서 도파관의 구조
Fig. 4. Structure of wave guide in dual sensor module.

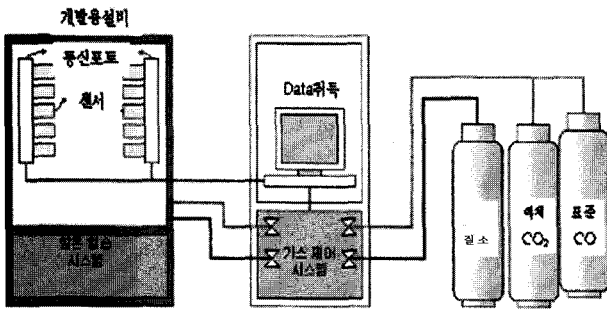


그림 5. CO2 & CO 듀얼 센서 모듈 교정 시험 구성도
 Fig. 5. Block diagram for calibration of dual sensor module.

듀얼 광 공동 개발 과정을 살펴보면 첫 번째 광 경로 100[cm]의 광 동공 구성하는 각 Mirror 함수 값을 도출하고 이산화탄소는 10[cm] 이상, 일산화탄소는 100[cm] 이상의 값을 갖도록 설계한다.

두 번째로 광 공동을 구성하는 적외선 램프 및 적외선 검출기의 사양은 1램프 2 검출기 형태(그림 4)를 기본으로 광량이 기준 이하이면 2램프 2 검출기로 설계한다. 그림 5는 듀얼 센서 모듈의 교정 시험을 위한 구성도를 나타낸다.

III. 실험

구현된 센서의 모듈의 성능을 시험하기 위해 적절한 CPU를 선정하고 센서모듈과의 인터페이스를 통해 측정 데이터를 취득할 수 있고 가격적인 면과 개발환경, 다양하게 이용될 수 있는 주변장치의 종류 및 회로의 규모를 작게 할 수 있는 내부 메모리의 크기를 고려대 상하여 센서 모듈을 구동할 때 시스템에 부하를 크게

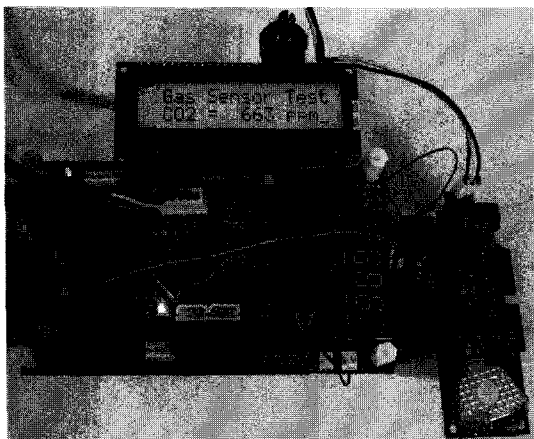
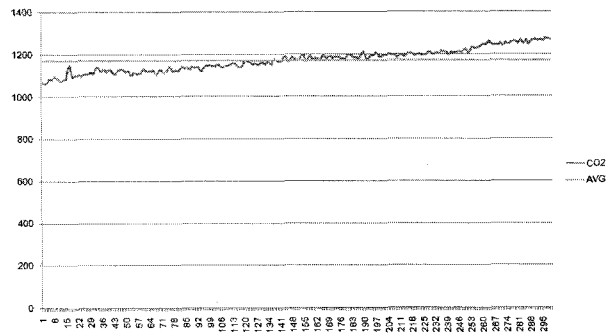


그림 6. CO2 센서 모듈 실험
 Fig. 6. Experiment of CO2 sensor module.



평균 : 1171 최대 : 1276 최소 : 1063

그림 7. CO2 센서 모듈 실험결과 (세로축 : ppm)
 Fig. 7. Experimental result of CO2 sensor module.

주지 않는 적당한 처리 속도를 갖는 범용 8-bit ATmega128(L) CPU를 선정하여 센서 모듈의 실험을 진행 하였다. ATmega128(L)은 내부 128Kb의 플래쉬 메모리가 내장되어 있고 처리속도는 16MIPS로 센서 모듈의 데이터를 수신하고 외부로 전송하는 시스템에 적합한 사양을 갖는다.

실험에 사용 되어진 센서 모듈의 CPU는 메인 컴퓨터와 직렬 통신을 이용하여 그림 6과 같이 구현 하였으며 듀얼 센서 모듈의 데이터 값을 측정된 결과를 그림 7에 나타내었다. 그림 7의 실험은 듀얼 센서의 데이터 값을 1시간 남짓 가량 측정하여 결과 값을 그래프로 나타내고 있으며, 측정 간격은 15초를 주기로 센서 데이터를 도시하였다. 그림 7에서 직선으로 표시된 부분은 CO2 측정치의 평균값을 나타낸다.

IV. 결 론

유비쿼터스 시대의 도래에 따라 실내 환경 분야에서 다양한 센서들이 개발되어지고 실제 환경 관련 USN (Ubiquitous Sensor Network) 분야에 다양하게 적용되어지고 있다. CO2 & CO 듀얼 센서 모듈의 개발과 연구를 통해서 반도체 센서가 갖는 단점인 낮은 정밀도와 짧은 수명으로 인한 교체 비용의 상승을 억제하고 비교적 긴 수명을 갖고 정밀도가 높은 비분산 적외선 (NDIR) 방식의 CO2 센서와 CO 센서를 하나의 모듈로 일체형화 함으로써 상호 시너지 효과를 얻을 수 있으며, 개발된 CO2 & CO 듀얼 센서 모듈을 지하철 객차 내, 지하철 역내 또는 지하 터널내의 특수한 대기 환경에서 환기를 위한 모니터링 시스템의 센서 모듈로 사용한다면 낮은 정밀도와 짧은 수명으로 인한 교체 비용

상승을 억제하고 긴 수명과 높은 정밀도를 갖는 NDIR 방식의 장점의 활용으로 지하철을 이용하는 시민들에게 보다 쾌적한 지하 공간을 제공하는데 기여 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] 권종원, 박용만, Odgerel Ayurzana, 김희식, “ZigBee 무선표준을 이용한 상수도 원격검침 네트워크 구현” 정보 및 제어 심포지움 ICS'06, pp.168-170, 2006. 4
- [2] 권종원, 오드게렐, 박용만, 구상준, 김희식; “ZigBee 를 이용한 실시간 임베디드 리눅스 기반의 저전력형 U-Health 시스템 구현” 2007 정보 및 제어 심포지움 ICS'2007, pp.436-438, 2007. 4
- [3] 박용만, 김희식, 김규식, 이문규, “지하철 역내 가스 검출 원격 모니터링 시스템 구현” 2007 정보 및 제어 심포지움 ICS'2007, pp.439-441, 2007. 4
- [4] 오준태, 박재우, 전진용, 김규식, 박기호, “디지털 저항을 이용한 용접기용 무선 리모콘”, 정보 및 제어 심포지움 ICS'08, pp.225-227, 2008. 4
- [5] 이병석, 이준화, 김규식, 김조천, “초소형 비행체 Quad Rotor를 이용한 USN 환경가스센싱 시스템,” 정보 및 제어 심포지움 ICS'08,” pp.45-46, 2008.4

저 자 소 개



김 규 식(정회원)

1981년 서울대학교
전자공학과 졸업
1983년 서울대학교 제어계측
공학과 석사 졸업
1990년 서울대학교 제어계측
공학과 박사 졸업

1988년~1992년 대우중공업 중앙연구소
선임 연구원

1993년~현재 서울시립대학교 전자전기컴퓨터
공학부 교수

2003년~2005년 Univ. of Wisconsin-Madison
방문교수(Visiting Scholar)

<주관심분야 : 센서네트워크, 비선형제어, 에너지
변환>



오 준 태(정회원)

1998년 동국대학교 전기공학과
학사 졸업.

2003년 동국대학교 대학원
전기공학과 석사 졸업.

2009년 서울시립대학교 전자전기
컴퓨터공학부 박사과정.

<주관심분야 : 센서네트워크, 제어, 에너지 변환>



김 희 식(정회원)

1977년 서울대학교 기계설계학과
학사 졸업

1979년 한국과학기술원 생산공학과
석사 졸업

1987년 독일 Stuttgart 대학교
공학박사 졸업

현재 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 교수
<주관심분야 : 센서, 원격계측, 계측네트워크>



김 조 천(정회원)

1982년 전남대학교 화공특성
화학과 학사 졸업

1988년 서울대학교 환경대학원
석사 졸업.

1995년 미국 플로리다 주립대학교
박사 졸업

현재 건국대학교 환경공학과 교수

<주관심분야 : 센서, CO2 신호처리, 환경>