

논문 2016-11-34

무선센서네트워크 기반 공기질 측정을 위한 비분산적외선 복합가스측정시스템 (NDIR Multi-Gas Measurement System for Air Quality based on Wireless Sensor Network)

백승현, 이준영, 정상우, 박홍배*

(Seung Hyun Paik, Jun Yeong Lee, Sang Woo Jung, Hong Bae Park)

Abstract : As public interest in air quality and environment problem is increasing, many researches are being carried out the gas measurement system. Especially, Non-dispersive infrared (NDIR) measurements using Beer-Lambert gas sensing principle with very high selectivity and long life time are noted for reliable method. It is possible to detect various gases such as carbon dioxide (CO₂), carbon monoxide (CO), and nitrogen dioxide (NO₂), but many researches are mostly concentrated on CO₂ sensor. The multi-gas measuring instrument is high price and unwieldy, therefore it is not suitable for wide area required numerous instrument. So we study the NDIR multi-gas measurement system for air quality based on wireless sensor network, and experiment the realized measurement system.

Keywords : Air quality, Gas sensor, Gas detector, NDIR, Sensor network

1. 서론

대기오염과 각종 유해물질로 인한 공기질에 대한 인식이 사회전체에 확산되고 있으며, 특히 산업체에서는 유해가스로 인한 인명사고가 발생함에 따라 대기오염도를 측정할 수 있는 장치에 대한 관심이 고조되고 있다. 다중이용시설 등의 실내공기질관리법이 입법되고 지속적으로 시행령과 개정안이 시행되고 있다. 입법 고시된 유지관리기준에서 대표적으로 이산화탄소, 일산화탄소, 이산화질소 등의 가스들을 기준치이하로 유지하고 년1회 측정하여 공고할 것을 의무화 하고 있다 [1]. 공기질은 매시간 변화하는 요소로 지속적인 측정과 관리가 필요함으

로 측정기가 사회 전반에 설치되어 보급되어야 하지만 고가의 측정기를 모든 시설에 설치하기에는 어려움이 있으며 이러한 측정기는 수입에 의존하고 있다 [2].

가스측정센서는 반도체식 촉매식 등 접촉식 가스센서와 비분산적외선 (Nondispersive Infrared) 방식과 같은 광학식 가스센서가 있다. 비분산적외선 방식은 접촉식 가스센서에 비해 선택성과 내구성이 우수하여 주기적인 보정이 필요하지 않으며 5년 이상의 수명을 가지고 있다 [3]. 비분산적외선방식의 센서의 특징은 한번 설치 후 유지관리에 효과적이므로 다중이용시설과 산업체 등 다수의 측정기를 설치하여 관리하여야 할 경우 더욱 유용하다. 기존 비분산적외선방식 가스센서는 계측기에 사용하기 위해 폭넓은 측정영역을 가지며, 복합가스측정이 아닌 이산화탄소측정에 사용되고 있으며, 상용센서의 오차율을 $\pm 20\text{ppm}$ 범위로 교정하고 있다. 공기질의 경우 관리기준이 이산화질소의 경우 0.05ppm으로 기존의 비분산적외선 가스센서는 공기질측정에 적합하지 않다 [4-9].

본 논문에서는 다수의 측정기로 넓은 장소 또는 스마트빌딩과 같은 장소에 설치할 수 있는 무선센서네트워크 기반의 공기질측정에 주요 대상가스인

*Corresponding Author (hbpark@knu.ac.kr)

Received: 6 Apr. 2016, Revised: 3 May 2016,

Accepted: 10 May 2016.

S.H. Paik, J.Y. Lee, S.W. Jung and H.B. Park:
Kyungpook National University

※ 본 연구는 교육부와 한국연구재단의 지역혁신
인력양성사업으로 수행된 연구결과임 (No.
2013H1B8A2032081).

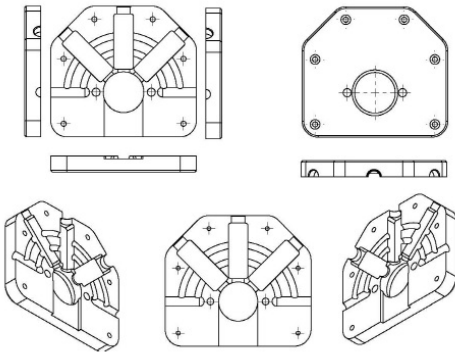


그림 1. 광챔버 설계
Fig. 1 Design of Optical Chamber

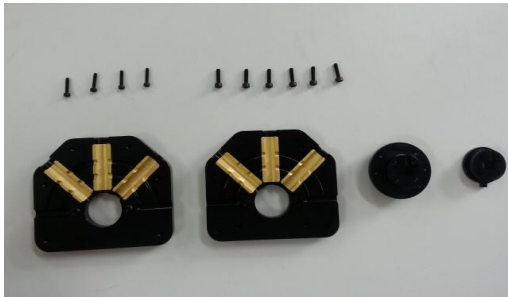


그림 2. 광챔버 구현
Fig. 2 Realization of Optical Chamber

이산화탄소, 일산화탄소, 이산화질소를 측정할 수 있는 비분산적외선 복합가스측정시스템을 제안한다. 측정농도영역을 공기질 관리기준에 적합하도록 연구하며, 비분산적외선방식 복합가스측정을 위한 광챔버를 설계하고 무선네트워크를 위한 ZigBee모듈을 포함한 저전력 센서보드를 설계하여 하드웨어를 구현하고 가스측정실험을 통해 성능을 확인한다.

II. 설계 및 구현

1. 광챔버 설계 및 구현

광챔버는 단일광원에 단일 광검출센서를 사용한 단일 광챔버를 확장하여 단일광원에 세 개의 광도파관과 광검출기를 사용한 구조로 설계한다. 그림 1과 같이 대상가스들을 (이산화탄소, 일산화탄소, 이산화질소) 측정하기 위해 세 개의 광도파관에서 각각의 대상가스를 측정할 수 있는 구조이다. 하나의 광원과 세종류의 광검출기를 사용하기 위해 광원은

표 1. 광검출기
Table 1. IR detector

Part name	Company	Spectral Range	Detect Gas
LHI 807 TC G1	Perkin elmer	4.64 μ m \pm 0.18	CO
LHI 807 TC G2	Perkin elmer	4.26 μ m \pm 0.18	CO ₂
LIE-316L	Infratec	5.30 μ m \pm 0.18	NO ₂

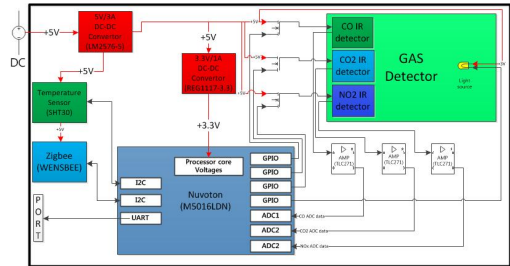


그림 3. 하드웨어 구성 블록다이어그램
Fig. 3 Block Diagram of Hardware

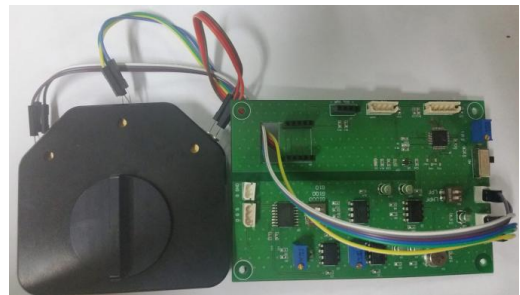


그림 4. 하드웨어 구현
Fig. 4 Realization of Hardware

회전식으로 설계하며, 광학적 밀폐를 하고 공기의 유입을 위한 순환부를 가진다.

구현한 광챔버는 그림 2와 같이 광도파관은 내부재질에 의한 광손실을 줄이기 위해 적외선반사율이 높은 금속코팅이 요구된다. 알루미늄, 은, 금, 구리 등이 금속코팅으로 가능하며 98%이상의 높은 반사율을 보이며, 특히 금이 99.4%의 가장 높은 반사율을 보이고 부식문제를 해결할 수 있으므로 광도파관은 금도금을 하여 코팅상태가 견고하도록 한다.

2. 하드웨어 설계 및 구현

측정대상가스의 적외선흡수과장에 적합한 3종의 광검출센서와 1개의 광원을 적용한다. 각 광검출센서는 측정대상가스의 파장만을 투과시키는 광필터를 탑재하고 있으며, 표 1에 보인다. 광필터 특성을 이용한 각각의 광검출센서는 측정대상가스 외 다른 가스에 의한 간섭을 제거하여 선택성을 확보한다. 본 논문에서는 LHI 807 TC G1, LHI 807 TC G2, LIE-316 L을 사용한다. 광원은 HSL사 EMIRS (IR Source)를 사용하며, 방사되는 적외선파장대역은 2-16 μ m으로 저전력설계를 위해 350mW 방사특성을 사용한다.

하드웨어 구성은 그림 3과 같이 MCU는 Nuvoton사의 M5016 (Cortex-M0)를 사용하고, Zigbee모듈은 UZ2400칩을 사용하여 설계한다. 그리고 각 광검출센서의 증폭단은 반전증폭기로 설계하여 흡수도를 출력하며 측정대상가스의 특성에 맞게 증폭도와 오프셋전압을 조절한다. 입력전원은 5V로 온습도센서 (SHT30)와 Zigbee모듈, 광원, 광검출기의 구동에 사용하며 MCU는 3.3V로 구동한다. 구현한 시스템은 그림 4에서 보인다.

3. 소프트웨어 설계

하드웨어를 구동하기 위한 소프트웨어는 테스트 버전에서 필요한 파라미터와 알고리즘을 확보 후 구현한다. Zigbee 모듈을 사용한 통신방식을 효율적으로 사용하기 위해 광검출센서 출력의 특성을 확인할 수 있는 구간의 데이터를 저장 후 전송구간동안 전송한다. 전송구간 주기는 광원의 주기설정과 가스측정 출력데이터의 특성에 맞게 설정한다. 시뮬레이션은 농도환산기법이 적용되는 Algorithm Process를 제외하고 각 광검출센서의 ADC값을 Zigbee모듈을 통해 수신하여 데이터를 수집한다. 실험을 통해 광원주기와 데이터 수집구간, 전송주기, 그리고 농도환산기법을 확보하고, 이를 적용한 소프트웨어 순서도는 그림 5과 같이 설계 및 구현한다.

4. 농도환산기법

비분산적외선법에서 사용하는 Beer-Lambert 이론에서 적외선광의 흡수도와 농도간의 식을 나타내며 식 (1)과 같다.

$$A(\lambda) = \alpha(\lambda)LC \tag{1}$$

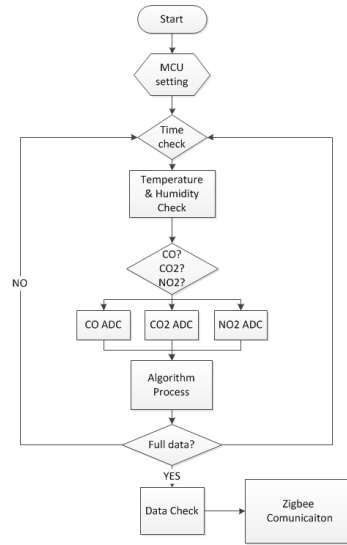


그림 5. 소프트웨어 순서도
Fig. 5 Flowchart of Software

$A(\lambda)$ 는 파장 λ 에서의 흡수도이며, $\alpha(\lambda)$ 는 파장 λ 에서의 흡광계수, L 은 광 투과거리, C 는 가스농도로 $A(\lambda)$ 에 의해 앞서 설계된 광챔버에서 각 가스별 흡수도를 얻을 수 있다. Beer-Lambert 이론에 따라 식 (2)가 성립하며, 식 (3)으로 나타낼 수 있다 [10-11]. 적외선 방사강도와 농도의 관계식으로 I_0 는 기준광의 세기이며, I 는 가스에서 적외선 흡수 후 방사강도이다.

$$A(\lambda) = -\ln[I(C, \lambda)/I_0(\lambda)] \tag{2}$$

$$I(C, \lambda) = I_0(\lambda) \exp[-\alpha(\lambda)LC] \tag{3}$$

광검출센서의 광필터대역이 존재하므로 출력전압은 적외선파장대역에서 적분한 것으로 볼 수 있고 따라서 식 (4)와 같다.

$$V(C) = \int I(C, \lambda) d\lambda \tag{4}$$

앞서 설계한 증폭단은 반전증폭으로 기준전압을 조정하였으므로 실제출력전압 V_{out} 은 식 (5)와 같다. V_0 는 식 (4)에서 기준광 출력전압이고 V_{offset} 은 기준전압이다.

$$V_{out}(C) = V_0 - V - V_{offset} \tag{4}$$



그림 6. 실험환경
Fig. 6 Experiment Environment

각 가스들의 특성에 따라 증폭률을 조절하므로 출력전압을 농도로 환산하기 위해서 실험을 통해 농도별 출력전압을 데이터 테이블 형태로 적용하여 소프트웨어에서 농도를 환산한다.

III. 복합가스측정 실험환경

그림 6과 같이 실제 구현한 복합가스측정모듈을 사용하여 유리챔버 내에서 가스측정실험을 진행한다. 온도는 항온수조를 사용하여 25oC를 유지하며 습도는 51±3%로 유지한다. 각 가스는 유량제어기(MFC)를 사용하여 유리챔버 내의 농도를 조절한다.

공기질판단의 기준이 되는 표 2의 실내공기질관리법 유지관리기준에 적합한 측정실험을 진행한다. 실험방법은 먼저 고순도 Air를 사용하여 모든 대상 가스 0ppm에서 안정화 후 실험을 진행한다. 각 농도의 안정화까지 걸리는 시간은 약 20분으로 유리 챔버에 농도안정화가 이루어지는 시간이다. 따라서 농도를 증가시킬 때마다 안정화 시간을 거쳐 측정 실험을 진행한다. 실험가스는 오차율 ±0.5%의 표준가스를 사용한다. 측정데이터는 ZigBee를 통해 컴퓨터로 전송하여 데이터를 수집한다.

표 2. 실내공기질관리법 유지관리기준
Table 2. Indoor Air Quality Law Maintenance Standard

Gas	CO2	CO	NO2
Standard	1,000ppm	10ppm	0.05ppm

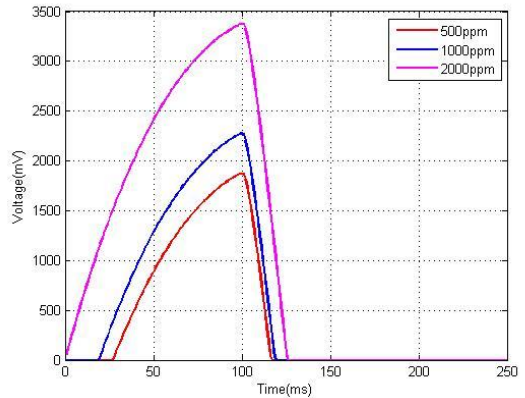


그림 7. 이산화탄소 출력신호파형
Fig. 7 CO2 Output Signal

IV. 실험결과 및 고찰

고순도 Air만 측정된 상태에서 안정화된 출력을 얻기 위해 먼저 광원의 펄스 주기를 조절하며 신호 파형을 분석한 결과 그림 7에서 보이는 바와 같이 광원이 동작하고 100msec부근에서 최대값으로 안정화된 출력이 나오는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 광원동작주기를 100msec로 하고, 안정화된 출력전압을 농도환산에 사용한다.

농도별 출력전압의 특성을 실험하기 위해 이산화탄소는 400ppm에서 1,000ppm까지는 100ppm단위로 증가시켰으며, 1,000ppm에서 5,000ppm까지는 1000ppm단위로 증가시켜가며 실험하였으며, 결과를 그림 8에서 보인다. 그림 9의 결과를 통해 3000ppm까지 안정적으로 농도환산이 가능함을 확인할 수 있다.

일산화탄소는 0ppm에서 10ppm까지 2ppm단위로 실험하였으며, 10ppm에서 50ppm까지는 10ppm단위로 실험하였다. 그림 9의 결과에서 50ppm까지 농도환산이 가능함을 보인다.

이산화질소는 0ppm에서 0.05ppm까지 0.01ppm단위로 농도를 증가시켰으며, 0.1ppm부터 0.5ppm

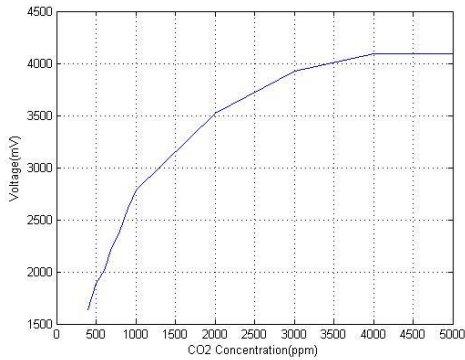


그림 8. 이산화탄소 농도별 출력전압
Fig. 8 Output Voltage of different CO2 Concentration

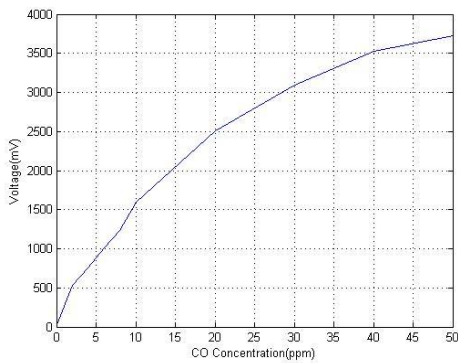


그림 9. 일산화탄소 농도별 출력전압
Fig. 9 Output Voltage of different CO Concentration

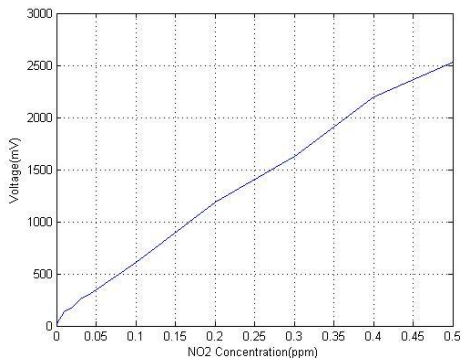


그림 10. 이산화질소 농도별 출력전압
Fig. 10 Output Voltage of different NO2 Concentration

까지 0.1ppm단위로 증가시켜가며 실험하였다. 그림 10에서 그 결과를 보인다.

위 실험결과 공기질측정을 위한 각 가스들의 농도영역에서 안정된 출력전압을 얻을 수 있음을 확인하였으며, 실험을 통해 획득한 농도별 출력전압 테이블을 사용하여 농도환산이 가능함을 보였다.

V. 결론

본 논문에서는 공기질 측정을 위한 무선센서네트워크기반의 비분산적외선 복합가스측정시스템을 연구·구현하였다. 비분산적외선방식 가스센서의 우수한 선택성을 활용한 복합가스측정과 긴 수명을 가지는 장점으로 인한 교체 비용의 절감 그리고 무선센서네트워크를 기반으로 다수의 센서노드를 설치할 수 있는 시스템으로 구현하였다. 광챔버를 하나의 광원과 세 개의 광검출기를 사용하여 복합가스측정이 가능하도록 하였다. 실내공기질관리법 유지기준에 입각하여 각 대상가스의 측정농도영역을 공기질 측정에 적합하게 설계·구현하였다. 농도환산기법은 출력전압과 농도간의 데이터 테이블을 사용하여 간편하고 연산과정을 줄일 수 있도록 설계함으로써 시스템에 부하를 줄이도록 하였다. 공기질의 주요판단 가스인 이산화탄소, 일산화탄소, 이산화질소를 측정할 수 있는 비분산적외선 복합가스측정시스템을 무선센서네트워크 기반으로 연구함으로써 접촉식 가스센서의 한계로 인한 짧은 수명, 가스간섭 등의 문제와 기존의 계측기 비용문제를 극복할 수 있는 계기가 될 수 있을 것으로 기대한다.

References

- [1] Ministry of Environment, "Indoor Air Regulation," 2015 (in Korean).
- [2] Korea Gas Safety Corporation, "2014 Gas Year Book," 2014 (in Korean).
- [3] Ministry of Environment, "Trend of Technology for Ecotechnology," 2011 (in Korean).
- [4] J. Kwon, G. Ahn, G. Kim, J. C. Kim, Hiesik Kim, "A study on NDIR-based CO2 sensor to apply remote air quality monitoring system," IEEE Sensors Journal Vol. 6, No. 6, pp. 1697-1705, 2006.
- [5] C. Calaza, E. Meca, S. Marco, M. Moreno, J. Samitier L. Fonseca, 1., Gracia, C. Cane, "Assessment of the final Metrological characteristics of a MOEMS based NDIR

Spectrometer through System modelling and data processing,” *IEEE Sensors Journal*, pp. 1323-1328, 2002

[6] Y.J. Kim, Y.S. Lim, G.T. Ryu, H.D. Bae, H. Choi, “Minute Signal Noise Cancellation System For The Air-pollution Measurement System,” *Journal of IEIE*, Vol. 46, No. 4, 2009 (in Korean).

[7] J.h. Kim, C.J. Lee, “Low Power NDIR CO₂ Sensor Using LED Light Source with a Smart Device Interface,” *The Journal of The Korean Institute of Communication Sciences* Vol. 40, No. 8, 2015 (in Korean).

[8] E. Pignanelli, K. Kühn, A. Schütze “Versatile Gas Measurement System Based on Combined NDIR Transmission and Photoacoustic Spectroscopy,” *IEEE Sensors Journal* Vol. 13, No. 3, pp. 934-940, 2013.

[9] R. Frodl, T. Tille, “A High-Precision NDIR CO₂ Gas Sensor for automatic applications,” *IEEE Sensors Journal* Vol. 6, No. 6, pp. 1697-1705, 2006.

[10] K. Kühn, E. Pignanelli, A. Schütze, “Versatile Gas Detection System Based on Combined NDIR Transmission and Photoacoustic Absorption Measurements,” *IEEE Sensors Journal*, Vol. 13, No. 3, pp. 934-940, 2013,

[11] J. Mayrwöger, P. Hauer, W. Reichl, R. Schwödauer, C. Krutzler, B. Jakoby, “Modeling of Infrared Gas Sensors Using a Ray Tracing Approach,” *IEEE Sensors Journal*, Vol. 10, No. 11, 2010.

Seung Hyun Paik (백 승 현)



He received the Ph.D degree in Electronics Engineering from, Kyungpook National University, in 2016. His research interests include electric nose, pattern

recognition, and sensor network.
Email: ksginol@gmail.com

Jun Yeong Lee (이 준 영)



He received the M.S. degree in Electronics Engineering from, Kyungpook National University, Korea, in 2008. He is currently a Ph.D. candidate in Electronics

Engineering at Kyungpook National University. His research interests include electric nose, pattern recognition, and graphene sensor.
Email: middle10@naver.com

Sang Woo Jung (정 상 우)



He received the B.S. degree in Computer Control from, Kyungil University, Korea, in 2014. He is currently a M.S. student in Electronics Engineering at

Kyungpook National University. His research interests include electric nose and embedded system software.
Email: demongun@naver.com

Hong Bae Park (박 흥 배)



He received the Ph.D. degree in Electronics Engineering from, University of New Mexico, Korea, in 1977. He is currently a professor in the School of Electronics

Engineering, College of IT Engineering, Kyungpook National University. His research interests include electric nose, pattern recognition, and robust control.
Email: hbpark@knu.ac.kr