

UV-LED 광원을 이용한 실시간 NO₂/SO₂ 가스 측정장치 개발

이성민, 변성용, 김영규, 김석민*
*중앙대학교

*smkim@cau.ac.kr

Development of real-time NO₂/SO₂ gas detection system using UV-LED light source

Lee Seong Min, Byun Seong Yong, Kim Young Kyu, Kim Seok Min*
*Chung-Ang Univ.

요약

본 논문에서는 UV-LED를 광원으로 이용하여 화석 연료가 연소할 때 배출되는 질소 산화물(NO₂) 및 황 산화물(SO₂)의 실시간 모니터링을 위한 가스 검출 시스템과 신뢰성 향상을 위한 보상 방법을 개발하고 그 성능을 검증하였다.

I. 서론

질소 산화물(NO₂) 및 황 산화물(SO₂)은 화석 연료의 연소에서 배출되어 환경에 해를 끼치는 물질이다. 따라서 한국환경공단에서는 일정 규모의 사업장에 대해 전국적인 네트워크를 형성하여 국내 고정 대기 오염원의 관리를 진행하고 있다. 대기오염물질을 배출하는 사업장에서는 의무적으로 굴뚝 TMS (Tele Monitoring System)를 설치하여 24시간 오염물질 배출 상황을 모니터링 및 보고를 해야 하며 그 정보는 Cleansys 홈페이지에서 모두가 확인할 수 있다. 이를 위해 배출 가스를 신뢰성 있게 실시간 감시할 수 있는 검출 장치 기술의 개발이 필요하다. 유해 물질이 특정 자외선 영역대의 빛을 흡수하는 현상을 이용한 NDUV (Non Dispersive Ultra-Violet) 검출 방식은 inline 측정이 가능하고 수분과 같은 외부 영향에 대한 간섭이 낮아 발전소 등의 TMS에 널리 활용되고 있다. 기존의 NDUV 검출방식 가스센서는 일반적으로 단파장 UV 영역에서 강한 광량을 방출하는 중수소 램프 광원을 사용하나, 중수소 램프 광원의 짧은 수명으로 인한 잦은 교체 및 램프의 방열을 위한 복잡한 방열 구조 등의 문제가 존재한다. 최근 단파장 UV LED의 개발이 이루어져 기존의 중수소 램프 광원을 대신하여 UV LED를 이용한 NDUV 가스센서에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.[1] 장시간 가동되는 TMS 용 NDUV 가스센서 개발에 있어 장기 신뢰성의 확보가 매우 중요하나, UV LED 광원의 열화 및 온도 영향 등으로 인한 드리프트 현상으로 인해 장기 신뢰성 확보에 어려움이 있다.[2] 본 연구에서는 LED 광원을 이용하여 석탄, 석유 등의 화석연료가 연소할 때 배출되는 질소 산화물(NO₂) 및 황산화물(SO₂)의 모니터링을 위한 실시간 가스 검출 시스템의 개발과 더불어 신뢰성 향상을 위한 드리프트 보상에 대하여 연구를 진행하였다.

II. 본론

본 연구에서 사용된 UV LED 가스센서의 경우 특정물질의 농도에 따른 빛의 감소를 나타내는 물리적인 법칙인 Beer-Lambert Law를 바탕으로 설계되었다. Beer-Lambert Law ($A = \epsilon lc$)에서 온도, 압력이 동일할 때 흡광도 A는 가스의 몰 흡광계수 또는 흡수율인 ϵ , 빛의 path length인 L (여기선 가스 셀의 길이), 그리고 가스의 농도 c에 비례하는 관계를 가진다는 것을 설명하였다. 본 개발장치에서는 ϵ 와 L이 상수이며 이는 곧 알고 있는 가스 농도에 따른 광 투과율의 curve를 통해 미지의 가스 농도를 검출할 수 있다는 의미를 내포한다.

본 논문에서 다룰 유해 가스 NO₂와 SO₂(NO_x/SO_x) 검출을 목표로 하여 검출 시스템을 제작하였다. 광원 LED의 선정을 위해 각 가스의 흡광 스펙트럼을 조사하였으며 그 결과 NO₂ 405 nm, SO₂ 275 nm peak 파장을 목표 광원으로 선정하였다.

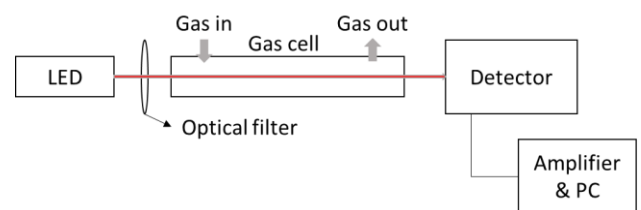


Fig. 1 Schematic of gas detection system

LED는 각각 파장이 405nm(NO₂)와 275nm(SO₂)인 것을 사용하였고 Figure 1과 같이 길이 250mm 직경 25mm인 알루미늄 Gas cell을 사용하여 Photo

diode 에서 빛을 측정할 수 있도록 설계하였다. 추가적으로 성능을 향상시키기 위해 band pass filter 및 Amplifier 를 이용하였다. 그러나 서론에 소개한대로 LED 광원은 시간 및 주위 환경에 따라 발생하는 임의의 드리프트가 존재하는 것이 확인되었다. 개발된 가스 검출 장치를 72 시간 동안 0 ppm 조건에서 가동 시 측정되는 신호 값이 30 ppm 의 변화를 보이는 것이 확인되었다. 따라서 신뢰성 향상을 위해 이와 같은 신호 드리프트 현상을 보상해줄 세 가지 방법에 대한 연구를 진행하였다. 첫 번째 방법으로는 LED 광원 주변부의 온도를 측정하여 보상하는 방법에 대한 연구를 진행하였으며 두 번째 방법으로는 스플리터를 이용하여 LED 광원의 빛을 두 방향으로 쪼개서 한 방향은 가스 검출에 이용하고 나머지 한 방향은 LED 광량의 변화를 추적하여 보상하는 방법에 대하여 연구하였다. 마지막 방법으로는 LED 에 인가되는 전압을 측정하여 보상하는 방법을 연구하였다.

개발된 실시간 가스 검출 장치 및 보상 방법에 대한 성능을 평가하기 위한 테스트를 진행하였다. 가스는 Mass Flow Controller(MFC)를 이용하여 질소, 이산화황 (1000 ppm), 이산화질소 (1000 ppm) 가스의 유량을 조절하고 혼합하여 테스트가 진행되었으며, 검출장치 작동 후 보상 신호와 검출 신호 값의 calibration 을 위해 임의로 장치에 들어가는 전력을 조정하여 얻은 데이터로 calibration curve 를 작성 후 보상이 진행되었다. 가스는 가스 농도 별 측정 값을 먼저 측정하여 가스 calibration curve 를 구하고 환경부에서 고지한 환경 측정기기 구조, 성능 세부 기준에 근거한 테스트 절차를 구성하여 진행되었으며 각 가스의 주입시간은 5 분씩 6 시간동안 한 번의 사이클로 구성하였다. 최종적으로 9 번, 총 54 시간 동안 테스트를 진행하였으며, 3 가지 보상 방법을 이용한 보상 전과 후의 드리프트 및 성능을 평가하였다.

그 결과 보상 전 제로 가스가 주입되는 동안의 신호 값이 54 시간 동안 90 ppm 이 변화하지만 온도 보상 후 50 ppm, 스플리터를 이용한 monitor 보상 후 10 ppm, LED 에 인가되는 input voltage 보상 후 10 ppm 으로 줄어드는 효과를 확인하였다. 또한 환경부에서 고지한 환경 측정기기의 형식승인 및 정도검사 항목 중 직선성의 경우 보상 전 9 번의 반복 테스트 중 200 ppm 가스 (측정 범위의 20%)에서 최대 6.3%값이 보상 후 최대 2.6%값으로 줄어드는 것을 확인하였다. (직선성은 주입가스 농도와 검출 값의 오차를 주입가스 농도로 나눈 후 100 을 곱하여 얻었으며 통과기준은 5 % 이하이다.) 마지막으로 그 외 모든 항목에서 기준점을 통과하는 검출 성능을 확인하였다.

III. 결론

본 논문에서는 UV LED 를 이용하여 실시간 NO₂/SO₂ 검출 장치 개발을 하였으며 검출 장치의 드리프트 요인으로 광원의 노화, 주위 환경 변화를 포함한 복합적인 요소가 영향을 미치는 것을 확인하였다. 이를 보상하기 위해 일반적으로 온도 보상 계수를 사용하거나 스플리터를 이용하여 쪼개진 빛을 이용한 monitoring 방법이 개발되어 사용되고 있으나 LED 에 인가되는 전압을 측정하고 보상함으로써 복잡한 시스템 없이 보상이 가능한 방법을 연구하고 검증하였다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 정부 (과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단 (No. 2021R1A2C2004458) 및 한국중부발전 현장기술개발 사업 “NO_x/SO_x 측정장치 핵심부품 UV 램프 센서 국산화 및 분석장치 개발”의 지원을 받아 수행된 연구임.

참 고 문 헌

- [1] Higashi, R., Taniguchi, Y., Akao, K., Koizumi, K., Hirayama, N. and Nakano, Y., 2014, A NO_x and SO₂ gas analyzer using deep-UV and violet light-emitting diodes for continuous emissions monitoring systems, Proc. SPIE 9003, Light-Emitting Diodes: Materials, Devices, and Applications for Solid State Lighting XVIII, 90031F.
- [2] G. C. M. Silvestre, M. T. Johnson, A. Giraldo, J. M. Shannon, 2001, Light degradation and voltage drift in polymer light-emitting diodes, Applied Physics Letters, Volume 78, Issue 11.