

TDLAS를 이용한 CO 농도 측정에 관한 연구

Study on the Measurement of CO Gas Concentration Using TDLAS

문성욱, 전형하, 우미혜, 남기중, 이성풍, 류광현*, 권남익*
고등기술 연구원, 한국외국어대학교 물리학과*
swmoon72@iae.re.kr

가스 상태의 반응 공정을 이용하는 반도체, 플라즈마, 연소 및 촉매를 이용한 유해가스처리와 대기 환경 등에서는 반응을 주도하는 활성기(radical)의 역할 그리고 극미량(sub-ppm 수준)으로 존재하는 유해가스 성분등을 실시간으로 추적하는 것은 매우 중요하다. 현재 사용되고 있는 비 광학적 미량 가스 측정 장비들은 측정 대상 가스성분과 측정 장치의 프로브 사이의 물리적인 접촉이 요구되므로 감지시간이 늦고, 프로브 오염에 따른 hysteresis, 회복시간(recovery time)의 지연, 활성(부식성) 가스 샘플에 의한 감지기능 저하 등을 유발한다. 본 연구에서는 최근에 기존의 기술이 갖고 있는 위와 같은 단점들을 극복 할 수 있고 장치의 소형화 및 단순성 때문에 관심이 확대되고 있는 파장 가변형 다이오드 레이저(Tunable Diode Laser Absorption Spectroscopy)^[1]를 활용해서 1.55 ~ 1.61 μ m 영역의 CO 흡수 스펙트럼을 통해서 미세농도 측정 기술을 개발하고 있다. 측정 대상 분자 이외의 성분 스펙트럼이 혼합되는 것을 피하고 측정의 재현성을 높이기 위해서 다른 가스의 흡수 스펙트럼과 겹치지 않는 CO의 흡수라인(R(14), R(15))과 자체 개발한 신호처리 프로그램을 이용하여 ppm 수준의 농도를 선별 측정하였다.

TDLAS의 기본 원리는 흡수 분광 기술에 사용되는 Beer-Lambert 법칙에 기초를 두며, I 와 I_0 는 분자의 흡수 주파수의 함수이므로 (1)식과 같이 표현된다.

$$I = I_0 e^{-\alpha(\nu)L} = I_0(\nu) e^{-\sigma(\nu)NL} \quad (1)$$

여기서, $\alpha(\nu)$ 는 매개체에 흡수되는 분광 흡수 계수 [cm^{-1}]이고, L 은 흡수 경로 [cm], I_0 는 입사되는 광의 세기, $\sigma(\nu)$ 는 흡수 산란 단면적(absorption cross-section), N 은 단위 체적 당 흡수 분자, I 는 매개체를 진행하여 빠져 나온 광의 세기를 나타낸다. (1)식의 좌우 변을 비교하면 다음 식을 얻을 수 있다.

$$\ln(I/I_0) = -\alpha(\nu)L \quad (2)$$

(2)식으로부터 광의 흡수도는 단위 체적당 분자수 즉, 농도와 광의 흡수 경로에 비례한다는 것을 알 수 있고, 따라서 측정의 정밀성 및 재현성을 높이기 위해서는 광에너지가 매질에 의해서 흡수되는 경로를 극대화 하는 것이 유리함을 알 수 있다.

실험 장치의 구성으로는 1520 ~ 1620 nm 영역을 가변 할 수 있는 ECDL 구조를 갖는 파장 가변형 다이오드 레이저(1mW)를 광원으로 사용하였고, 광원의 파이버를 통해 나온 빔은 collimation lens를

사용하여 CO 가스가 채워져 있는 가스셀(White cell, 광 경로 84m)에 입사시켰다. 가스 셀을 통과한 후 나온 빔은 광 검출기에 입사된다. 광검출기는 InGaAs 포토다이오드(Thorlabs사 Model PDA 400)를 사용하였으며 변환된 전기 신호는 DAQ를 통해 자체 개발된 신호처리 프로그램을 이용하여 분석하였다.

그림 1에는 1.55 ~ 1.61 μm 영역에서 Hitran을 이용한 CO의 시뮬레이션 흡수 스펙트럼(a)과, CO 4%를 100torr에서 측정된 스펙트럼(b)을 비교하였는데, Hitran 스펙트럼에 비하여 측정시 background noise가 포함되었기는 하였지만, 대체로 유사한 특성을 나타내고 있음을 확인하였다.

본 연구에서는 측정 장치의 특성을 알기 위해 비교적 흡수가 세고 SNR이 높은 R(14) 흡수선을 이용하여 13ppm ~ 130ppm까지의 농도 변화에 대하여 그림 2와 같이 관찰하였다. 가스셀의 압력은 5torr로 고정하였으며, buffer gas로 N_2 를 사용하였다. 측정 결과 ppm 수준에서 가스 측정/분석 장치의 안정성을 확인할 수 있었고, 향후 잡음 처리에 대한 보완 연구를 통해서 sub-ppm 단위의 실시간 측정 가능성을 확인할 수 있었다.

References

[1] David C. Scott, "Airborne Laser Infrared Absorption Spectrometer(ALIAS-II) for in situ atmospheric measurements of NO_2 , CH_4 , CO , HCl , and NO from balloon or remotely piloted aircraft platforms", Applied Optics, Vol. 38. No. 21, 20 July 1999

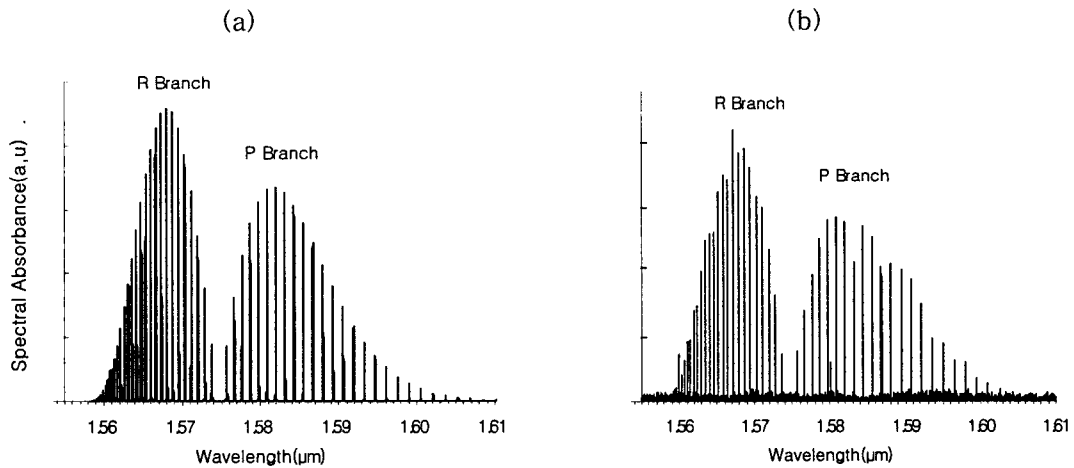


그림 1. CO absorption spectrum in 1.55 ~ 1.61 μm range.
(a) Hitran simulation (b) measured spectrum

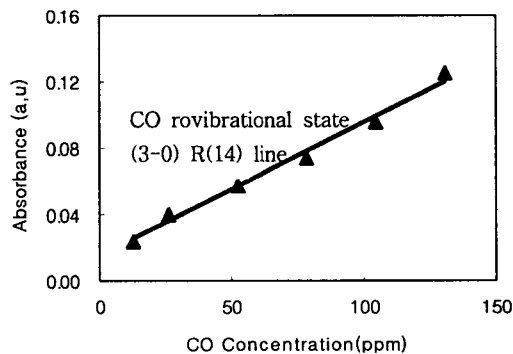


Fig. 2 Absorbance with respect to CO concentration : rovibrational state(3-0) R(14) line