

Overtone vibrational band ($2\nu_1$) of ethane near $1.67 \mu\text{m}$ measured by cavity ring-down spectroscopy

오명규, 이용훈, 고도경, 이종민

광주과학기술원 고등광기술연구소 레이저분광학연구실

omkyu@gist.ac.kr

Cavity ring-down spectroscopy(이하 CRDS)는 고감도 측정에 적합한 분광법으로서 극미량 물질분석에 현재 널리 이용되고 있다 [1]. 특히, 근적외선($\sim 1.6 \mu\text{m}$) 영역의 고분해능 cw-CRDS 분광법은, 기존의 (분자의 fundamental 진동 밴드가 있는) 중적외선($3 \sim 4 \mu\text{m}$) 영역에서의 분자 검출에 비해 전이모멘트가 작아 높은 검출 감도를 구현하기 어려운 점이 있으나, 충분한 세기의 overtone 흡수가 있는 경우에는 복잡한 중적외선 연속발진 레이저를 사용하지 않고 간편한 cw-ECDL (external cavity diode laser)을 광원으로 하여 상대적으로 간단한 시스템 구현이 가능하다. 본 연구팀은 $1.67 \mu\text{m}$ 영역에서 에탄(C_2H_6) 분자의 overtone 진동밴드($2\nu_1$)의 단일 회전 전이선들을 cw-CRDS(cavity ring-down spectroscopy) 방법으로 측정하였다. 전자적으로 바닥상태인 에탄의 스펙트럼은 $1.6 \mu\text{m}$ 까지 알려져 있으나 [2], $2\nu_1$ 밴드의 단일 회전전이선의 분해는 아직까지 보고되지 않았다. 또한 에탄, $^{13}\text{CO}_2$, NO_2 , 등의 고감도 가스 검출은 호흡가스를 이용한 간편한 의료진단 기술로 각광을 받고 있다 [3, 4, 5].

실험에서, 광원으로 ECDL(New Focus, $\text{Dn} < 300 \text{ kHz}$, $1.65 - 1.68 \mu\text{m}$)을 사용하였고, 1 쌍의 고반사율 거울($R = 99.6 \%$)로 구성된 진공($< 10^{-3} \text{ Torr}$) 공진기($L = 100 \text{ cm}$)에 300 mtorr로 에탄 가스를 채운 후, 레이저를 공진기 모드(TEM_{00})에 커플링하였다. 공진기의 광자 감쇠신호를 얻기 위하여, PZT로 공진기 길이를 주기적으로 변화시킴과 동시에 공진기 모드가 어느 수준 이상으로 여기 되는

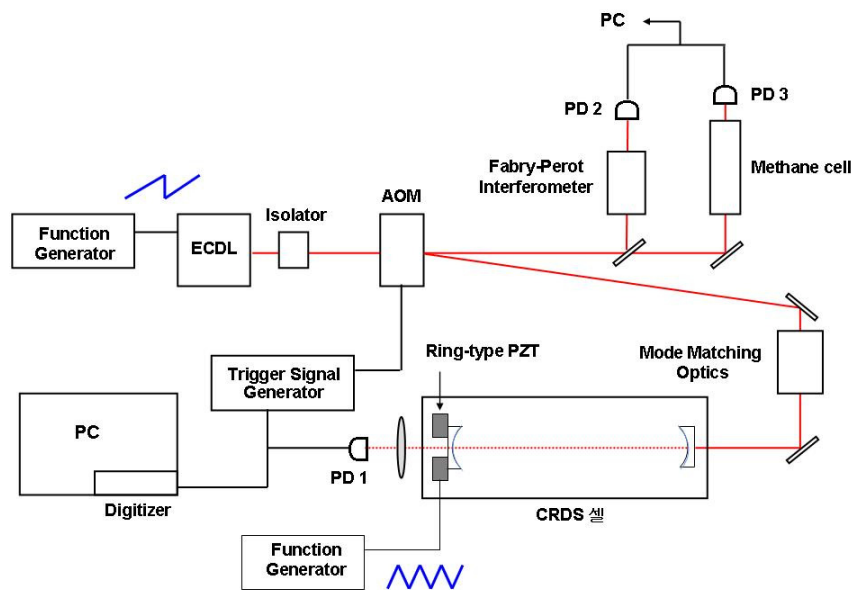


그림 1. Cw-CRDS 실험장치. ECDL: external cavity diode laser, AOM: acousto-optic modulator

순간에 AOM(acousto-optic modulator)을 이용하여 입력 레이저를 순간 차단하는 방법을 사용하였다. Digitizer(Gage Compuscope, 100 MHz)로 광자 감쇠신호를 획득하였으며, 광자 감쇠신호의 exponential fitting으로 감쇠시간, τ 를 결정하였다. 파장을 변화시켜 가며, 각 파장마다 50 개의 신호에 대해 평균한 τ 를 구함으로써 고감도, 고분해능의 스펙트럼을 얻을 수 있었다. 온도 안정화된 Fabry-Perot 캐비티의 투과 스펙트럼과 메탄 스펙트럼을 동시에 측정하여 에탄의 CRDS 스펙트럼의 파장을 보정하였다. 그림. 1은 실험 장치를 보여준다. 그림과 같은 실험장치를 이용하여 본 연구팀이 현재까지 얻은 최대흡수감도, a_{\min} 는 $4.0 \times 10^{-8} \text{cm}^{-1} \sqrt{\text{Hz}^{-1}}$ 이다.

에탄은 2954cm^{-1} 에서 메틸기의 symmetric stretching에 의한 ν_1 진동 밴드가 나타나는데, 우리가 관찰한 영역은 ν_1 진동 밴드의 overtone ($2\nu_1$)에 해당한다. 측정 결과 $1.6796 - 1.6803 \mu\text{m}$ 영역에서 에탄의 회전 전이선들을 분해하였으며, 이 회전 전이선들은 $2\nu_1$ 밴드의 RQ branch에 해당한다. 이 영역에서 가장 강하게 관찰되는 전이선의 경우 흡수단면적은 $2.5 \times 10^{-21} \text{cm}^2$ 로 나타났다. 그림. 2는 에탄의 CRDS 스펙트럼과 Fabry-Perot 캐비티의 투과 스펙트럼을 보여준다.

$2\nu_1$ 밴드에서 가장 흡수가 강한 전이선에서, 반사율 99.99%의 거울을 사용하면, 에탄 분자를 1 ppb 이하의 감도로 측정할 수 있을 것으로 예상된다. 에탄에 대하여 1 ppb 이하의 측정감도를 구현하게 되면, 이는 의료, 환경 분야 등에 매우 유용하게 적용될 수 있다고 알려져 있다 [3, 4].

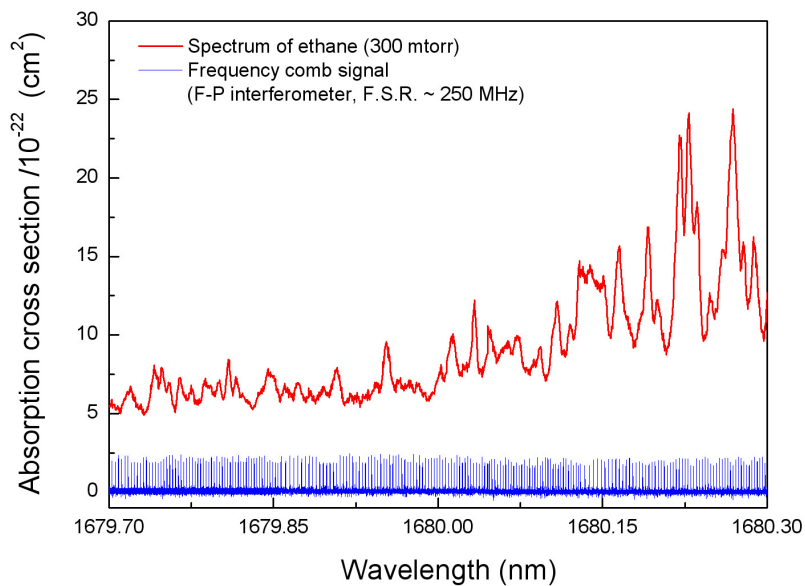


그림 2. CRDS를 이용해 측정한 에탄가스의 overtone vibrational band 스펙트럼.

[참고문헌]

[1] Mikhail Mazurenka, Andrew J. Orr-Ewing, Robert Peverall and Grant A. D. Ritchie, Annual Reports Section "C" (Physical Chemistry) **101**, 100 (2005)
 [2] Lincoln G. Smith, J. Chem. Phys. **17**, 139 (1948)
 [3] Manfred Murtz, Optics & Photonics News, **January**, 30 (2005)
 [4] H. Dahnke, D. Kleine, P. Hering, M. Murtz, Appl. Phys. B **72**, 971 (2001)
 [5] Yury A. Bakhirkin, Anatoliy A. Kosterev, Chad Roller, Robert F. Curl and Frank K. Tittel, Appl. Opt. **43**, 2257 (2004)