

새로운 사광자혼합 분광법을 이용한 아세틸렌-산소 불꽃내의 C₂ 라디칼 스펙트럼 측정 New type of four wave mixing spectroscopy of C₂ radicals in acetylene-oxygen flame

이은성, 최대식, 한재원
한국표준과학연구원 광기술표준부
eslee@kriss.re.kr

코히런트 반스톡스 라만산란(Coherent Anti-Stokes Raman Scattering, CARS)이나 축퇴 사광자혼합(Degenerate Four-Wave Mixing, DFWM)과 같은 사광자혼합(Four-Wave Mixing, FWM)분광법은 신호광이 레이저처럼 가간섭성이고 특정한 방향성을 갖기 때문에 높은 신호대 잡음비를 보여준다. 즉, 연소과정이나 플라즈마 같은 광학적 배경잡음이 많은 상황에서 만들어진 신호를 잡음이 약한 곳으로 가져와 측정하므로써 작은 신호의 검출이 가능하다. CARS의 경우, 라만이동(Raman shift)된 분광선들의 신호세기분포를 통해 분자들의 볼츠만분포를 구하고 온도값을 얻는다.[1] DFWM 분광법은 다소 늦게 도입되었지만, 단일 파장의 3개 입사광을 사용하기 때문에 쉽게 위상정합을 시킬 수 있어 기체뿐만 아니라 고체 시료에서도 이용되고있다. 또한 공명효과를 통한 높은 신호발생은 CARS보다 훨씬 큰 신호대 잡음비를 보여주어 미량의 원소 검출에 탁월한 성능을 보여주고 있다.[2] 이러한 FWM 분광법은 기본적으로 3차 비선형 감수율을 통한 회절격자 생성효과를 이용하기 때문에 격자생성의 요인들에 의해 신호 분광선의 여러 특성이 달라진다. 특히 DFWM처럼 공명효과를 격자생성의 주요인으로 이용하는 경우는 강한 입사광에 의한 포화현상이 매우 심각히 나타나게 되어 전체적인 분광선의 형태를 해석하기 어려운 상황으로 만들 수 있다.[3] 이 번 연구에서는 DFWM에서 발생할 수 있는 포화현상을 현격히 줄이고 신호대 잡음비를 더 높일 수 있는 새로운 FWM 분광법을 소개하고자 한다. 포화효과는 입사파의 주파수가 분자의 천이선과 공명을 이루어 많은 수의 분자가 높은 에너지준위의 상태로 이동하여 기저상태의

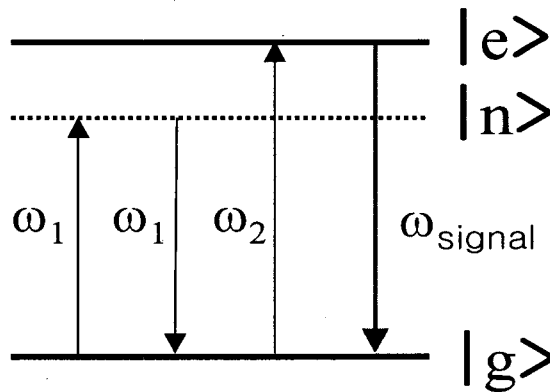


그림 1. 새로운 사광자혼합 분광법의 에너지준위 구조

분자수가 고갈되어가기 때문이므로 새로운 FWM 에서는 회절격자를 형성하는 강한 두 레이저광의 주파수를 공명주파수에서 상당히 떨어뜨려 놓았다.(그림 1)

실험에서는 아세틸렌-산소 화염내에 일시적으로 존재하는 C_2 라디칼의 천이선에 비공명이고 고정된 주파수(파장 532 nm)인 Q-switched Nd:YAG 이차고조파를 두 입사 레이저광으로 하여 화염 내에 회절격자를 형성하고 주파수 ω_2 (파장 514 nm 부근)인 약한 탐침광(색소레이저 : Comarin 500)이 산란되어 같은 주파수의 신호광을 발생시킨다. 이때 탐침광은 파장가변으로서 분자의 천이선에 공명인 주파수에서 강한 산란신호가 발생한다. 측정된 C_2 라디칼의 Swan 밴드($d^3\Pi_g \leftrightarrow a^3\Pi_u$) 스펙트럼이 그림 2에 나타나 있다. 이때 색소레이저의 분광 에너지밀도를 100 nJ/nm 이하로 줄여 탐침광에 의해 발생할 수도 있는 포화효과를 제거하였다. 강한 Nd:YAG 레이저의 세기변화에 따른 신호의 변화를 측정하여 충분히 높은 신호 수준에서도 포화현상이 없음을 확인하였다. 그림 3에서 보듯이 신호의 크기는 레이저의 세기에 2차 함수적으로 증가함을 알 수 있다.

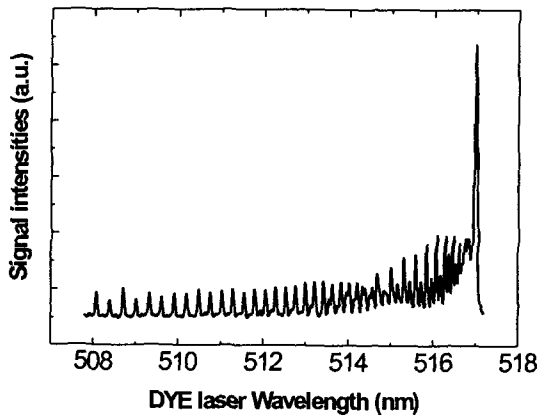


그림 2. C_2 Swan 밴드의 FWM 분광 스펙트럼

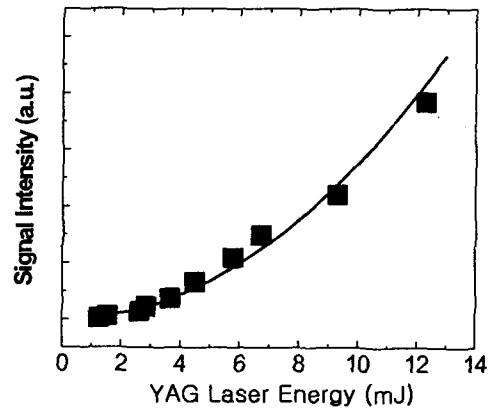


그림 3. Nd:YAG 세기에 따른 신호의 변화

참고문헌

1. A. C. Eckbreth, *Laser Diagnostics for Combustion Temperature and Species* (Abacus, Cambridge, Mass., 1988).
2. R. L. Farrow and D. J. Rakestraw, *Science* **257**, 1894(1992).
3. D. H. Yu, J. H. Lee, J. S. Chang, J. S. Ryu, J. W. Hahn, and P. M. Danehy, *J. Opt. Soc. Am. B* **18**, 1111(2001).