

레이저 유도 격자 분광학을 이용한 화염내의 soot 측정

Measurement of soot in flames using laser induced grating spectroscopy

이중재*, 고동섭**, 박철웅, 한재원, 이영우*

한국표준과학연구원, *목원대학교 전자 및 컴퓨터공학과, **목원대학교 물리학과
jwhahn@kriss.re.kr

최근 자동차, 항공기 등 연소과정을 수반하는 산업이 발전함에 따라 연소환경에 대한 관심이 높아지고 있다. 그런데 연소환경을 접촉식 방법으로 측정하게 되면, 측정기기가 연소환경에 영향을 주기 때문에 정확한 측정을 하기는 어렵다. 그래서 레이저를 이용한 비접촉식방법이 활용되고 있으며,⁽¹⁾ 그 중에서 LIGS(laser induced grating spectroscopy)나 DFWM(degenerate four wave mixing)⁽¹⁾은 신호대 잡음비가 높기 때문에 미세량으로 존재하는 분자를 검출하는데 유용할 뿐만 아니라 2차원 영상수집도 가능하다. 또한 LIGS의 시분해 신호를 분석하면 연소장내의 온도와 입자의 밀도 등을 산출할 수 있다. 본 실험에서는 대기압에서 불완전 연소장의 soot에 대한 신호를 수집, 분석하여 화염 위치에 따른 온도 변화와 soot의 농도 등을 정량적으로 조사했다.⁽²⁾

일반적으로 LIGS는 주파수가 서로 다른 두 개의 레이저광을 사용한다. 하나는 공간적 회절격자를 생성시키는 여기광으로, 다른 하나는 회절격자를 검출하는 검침광으로 사용한다. 파장이 λ_p 인 두 광이 매질에 입사하여 회절격자를 생성하였을 때, 간섭무늬 사이의 간격 Λ 은

$$\Lambda = \frac{\lambda_p}{2\sin(\theta/2)} \quad (1)$$

로 주어진다. 여기서 θ 는 두 광선이 이루는 각도이다. 펄스광으로 회절격자를 생성시켰을 때, 매질의 탄성적 반응 특성에 의해서 정상 밀도파(standing density wave)가 발생하고, 이 밀도파의 속도는

$$v = \sqrt{\frac{TR\gamma}{M}} \quad (2)$$

로 주어지며, T 는 매질의 온도, R 은 이상기체상수, M 은 가스의 물질량, $\gamma = c_p/c_v$ 이다. 여기서 c_p 는 정압비열, c_v 는 정적비열이다. 매질을 통한 밀도파의 전파에 의해서 회절격자의 세기는 주기적으로 변화하며, 그 주기는 다음과 같다.

$$\tau_p = \frac{\Lambda}{v} \quad (3)$$

식(2)와 (3)에 의해서 매질의 온도 T 는

$$T = \left(\frac{\Lambda}{\tau_p}\right)^2 \left(\frac{M}{\gamma}\right) \frac{1}{R} \quad (4)$$

로 표현된다.

그림 1은 본 실험의 장치도이다. 여기광원으로는 2차 고조파를 발생하는 Nd:YAG 펄스 레이저

(Quastel, YG-681)를 사용하였으며, 검침광으로는 488 nm의 Ar⁺ 레이저(Coherent, Innova 300)를 이용하였다. 여기광은 선속분할기로 나누고, 이 두 광선을 연소장에서 $\theta = 1.52^\circ$ 의 각도로 교차시켰다. 배경잡음을 최소화하기 위해서 PMT(Hamamatsu, R955) 앞에 바늘구멍과 488 nm 투과필터를 설치하였다. PMT의 광전자 신호는 오실로스코프(HP, Infinium)로 실시간 수집하였다.

그림 2와 3은 측정 결과의 예를 보여 주고 있다. 그림 2에서 신호 주기 τ_p 를 산출하고 식(4)를 이용하여 온도를 계산할 수 있었으며, 그 계산 결과는 열전쌍을 이용한 온도 측정치와 비교하였다. 여기광 세기와 신호 세기의 관계를 조사한 실험에서는 여기광의 세기가 증가함에 따라 포화 효과가 나타남을 알 수 있었으며 그 결과는 그림 3에 나타내었다. 또한 화염 위치에 따른 계측을 통해서 연소장 위치에 따른 soot 농도의 변화를 산출할 수 있었다.

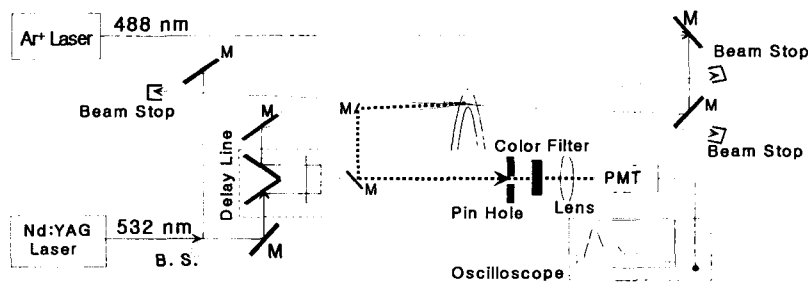


그림 1. LIGS 실험 장치도.

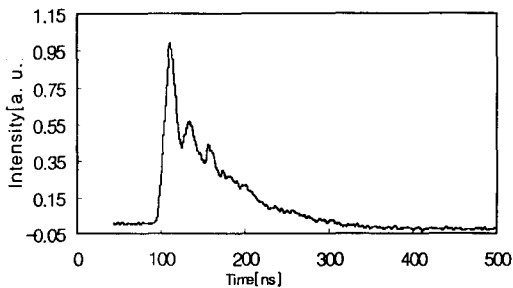


그림 2. LIGS 신호.

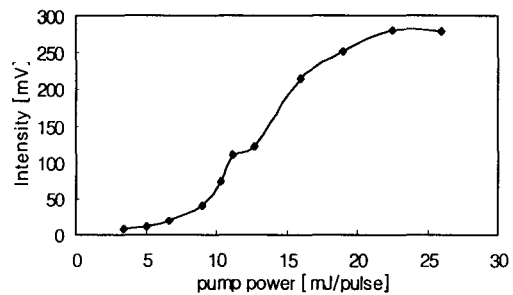


그림 3. 여기광 세기에 따른 신호 세기.

참고문헌

1. 이은성, 한재원, 한국광학회지 7, 142 (1996).
2. M. S. Brown and W. L. Roberts, J. Prop. & Power 15, 119 (1999).
3. A. Stampanoni-Panariello, B. Hemmerling and W. Hubschmid, Appl. Phys. B67, 125 (1998).