

†, *, **

A Study on the Soot Particle Measurement in Co-flow Diffusion Flame Using a Laser Diagnostics and a Thermocouple

Yong-Taek Han , Ki-Hyung Lee and Won-nam Lee

Key Words: Diffusion flame(), Soot(), Rapid insertion technique(), Co-flow burner(), PAH(), Soot volume fraction (), LEM(), LIS()

Abstract

The temperature and soot particle measurement technique in a laminar diffusion flame have been studied to investigate the characteristics of soot particle with temperature using a co-flow burner. The temperature distributions in the flame were measured by rapid insertion of a R-type thermocouple and the soot particles were detected by LEM/LIS techniques. In these measurement, soot volume fraction, number density and soot diameters were analyzed experimentally. As a results, the spacial distributions of particle volume fraction, soot diameter, and number density are mapped throughout the flame using the Rayleigh theory for the scattering of light by absorbing particles. A laser extinction method was used to measure the soot volume fraction and Laser induced scattering method was used to measure the soot particle diameter and number density. Also, we measured temperature without the effect of soot particles attached to the thermocouple junction, which is close to the nozzle. In this result, we found that upstream zone has a unstable flowing in co-flow diffusion flame and the y-axis temperature of flame has a uniform temperature distribution in the most soot volume fraction zone.

T_g (Temperature of Gas)

T_j (Temperature of Junction)

ϵ_i (Emissivity of Platinum)

k_{ext} (Extinction coefficient)

σ (Stefan-Boltzmann Constant)

Nu_j (Nusselt Number of Junction)

X_g (Thermal Conduction Coefficient of Gas)

Q_{ii} (Volumetric scattering cross section)

†

E-mail : rthan102@hanmail.net

TEL : (031)418-9293 FAX : (031)406-5550

*

**

1.

가

가

, 가

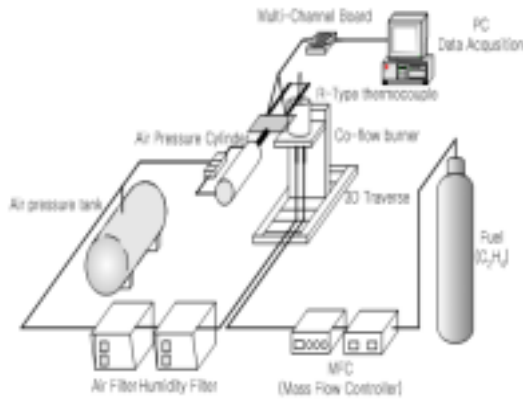


Fig.2 Experimental setup

가 R-type (Pt-Pt/13%Rd)
60 μ m

Fig. 2

2.2 LEM/LIS

레이저 광소멸법(LEM)/ (LIS) : 이용한 매연체적분률, 매연입자입경 및 수밀도의 측정을 위한 측정 장치에는 Ar-ion 레이저를 파장 514.5nm 1W 광소멸 신호와 광산란 신호는 각각 광다이오드와 PMT

또한 외부 노이즈의 최소화를 위하여 lock-in 앰프와 광학용 조피시스템을 사용하여 line-of-sight 광소멸법 및 광산란법을 이용하였으며, GPIB 신과 Labview Fig.3 : 레이저

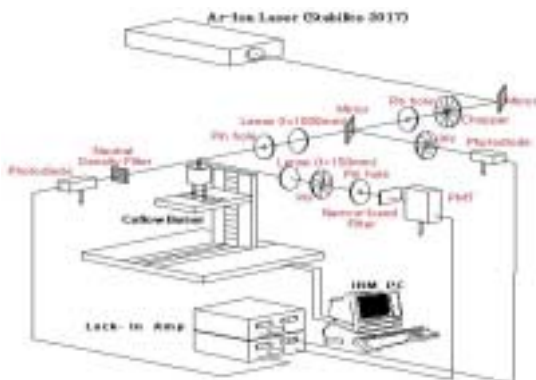


Fig.3 Laser light extinction/scattering experimental set-up

광소멸법 및 산란법의 실험장치의 개략도를 나타내는 그림이다.

2.3

추정된 온도는 열전대의 접점이므로 복사열손실, 열전대의 접점 표면에서 일어나는 열생성(heat generation) 을 고려해 가스의 온도를 구해야 한다. 그러나 본 실험에서 택한 열전대 선의 직경이 매우 작아서 접점의 직경은 120±25 μ m 이므로 전도 열전달과 표면에서의 열 생성은 접점에서 복사열손실에 비해 충분히 작은 값이므로 복사 열손실만을 고려하였다. 접점에서 준정상 에너지 평형(quasi-steady energy balance) 적용하면 다음과 같이 추정된 T_j 값으로부터 실제 화염온도 T_g 값을 얻을 수 있다.(6)

$$\epsilon_i \sigma T_i^4 = (X_{g,o} Nu_j / 2d_i) (T_g^2 - T_j^2)$$

여기서 ϵ_i 는 접점의 방사율(emissivity), σ 는 Stefan-Boltzmann , Nu_i 는 접점의 Nusselt , d_j 는 접점의 대표지름, 그리고 $X_{g,o} = X_g / T_g$ 이다. 여기서 X_g 는 가스의 열전도 계수로, T_g 에 선형적으로 비례한다고 가정하여, $X_{g,o}$ 값을 상수로 하였으므로, X_g 가 상수라는 가정보다는 훨씬 합리적이다. 이 식의 좌변은 단위 면적당 복사 열 소실량이며 우변은 대류 열 유입량이다. $Nu_i = 2.1(6)$, $X_{g,o} = 6.54 \times 10^{-5} W/m^2 K(6)$, $d_j = 160 \mu m(6)$, 방사율 ϵ_i 는 백금(Pt) | 깨끗한

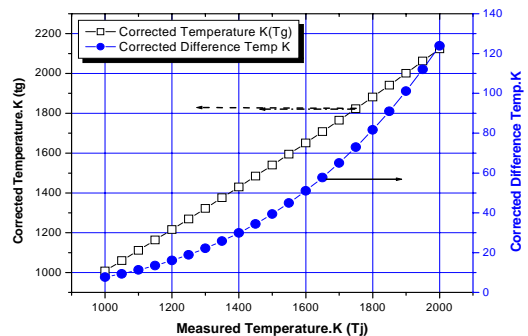


Fig.4 Comparison between the measured and corrected temperature

표면에 대한 값을 취했으며, 온도에 따라 각기 다른 값들을 주어 값을 구하였다.(12,13) 온도가 높을수록 복사 보정에 의한 온도 차이가 커져서 2000K 123K 나타난다.

Fig.4 : 위와 같은 방법을 통해서 온도에 따라 보정하기 전과 보정한 후의 온도 차이를 나타내는 식을 도시한 그래프이며, Fig.5 : 위와 같은 보정과정을 거친 후의 높이에 따른 온도의 결과를 나타내는 그래프이다.

Fig.5 | 그림을 통해 또한 연소가 발달함에 따라 온도의 상승이 일어나는 것을 알 수 있으며, 확산화염에서 화염면에서의 온도가 가장 큰 값을 가진다는 것을 알 수 있다. data 획득과정에서 화염 상류부에서는 화염의 진행이 활발한 산화로 인해 약간은 불안정한 data | 획득이 이루어짐을 알 수 있다.

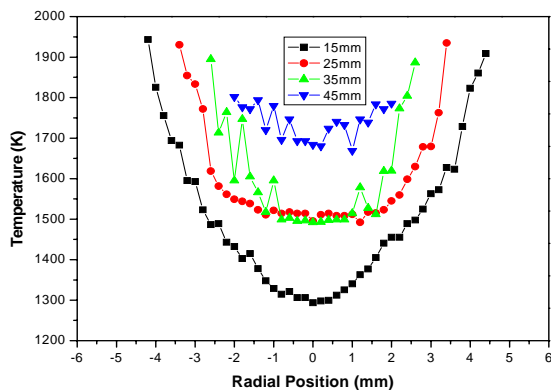


Fig.5 Radial temperature profiles of the C_2H_4 diffusion flame measured by thermocouple

3.

3.1 LEM/LIS

입자에 의한 감쇠계수 K_{ext} 는 식(1) - 같이 감쇠비 I/I_0 를 구함으로써 얻어진다.

$$\frac{I(y)}{I_0} = \exp\left[-\int_{-x_0}^{x_0} K_{ext}(x,y)dx\right] \quad [1]$$

이때 화염을 축대칭으로 가정하고 Abel 변환을 이용하여 식을 재구성 한다.

매연 입자가 레이저 파장에 비해 충분히 작은

구형입자로 가정한 Rayleigh 근사를 이용하고 매연입자의 복소 굴절률(refractive index) $m = 1.57 - 0.56i$ 을 사용하면, Abel !환 후 구한 K_{ext} 로부터 매연입자의 체적분율 f_v 를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$f_v = \frac{\lambda K_{ext}}{6\pi E(m)} \quad [2]$$

이 식에서 복소함수 $E(m)$ 은 다음과 같다.

$$E(m) = -Im\left(\frac{m^2 - 1}{m^2 + 1}\right) \quad [3]$$

Fig.6 : 위의 방법으로 구한 매연체적분율 f_v 를 나타내는 그림으로서, 광소멸 신호로부터 얻어진 적분된 매연 체적분율을 나타내는 그림이다

또한 매연입자의 입경 분포가 로그 정규이며 self-preserved 분포로 가정하면 다음의 관계를 이용하여 매연입자의 입경(D), (N) 등을 구할 수 있다.

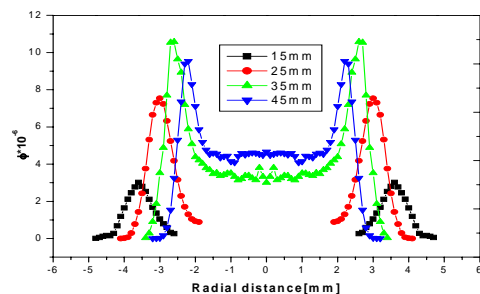


Fig.6 Soot volume fractions measured by laser extinction method

$$D_{30} = \frac{\lambda}{\pi} \frac{4\pi E(m) Q_{vw}^{1/3}}{f_n F(m) K_{ext}} \quad [4]$$

$$N = \frac{6\phi}{\pi D_{30}^3} \quad [5]$$

$$f_N = \left(\frac{D_{63}}{D_{30}}\right)^3 = 2.0788 \quad [6]$$

$$E(m) = -Im\left(\frac{m^2 - 1}{m^2 + 1}\right) = 0.25954 \quad [7]$$

$$F(m) = \left|\frac{m^2 - 1}{m^2 + 2}\right|^2 = 0.21734 \quad [8]$$

$$m = 1.57 - 0.56i \quad [9]$$

다음의 Fig.7 Fig.8 : 위의 방법으로 구한 매연입자의 입경직경(D_{30})과 수밀도(N)를 나타내

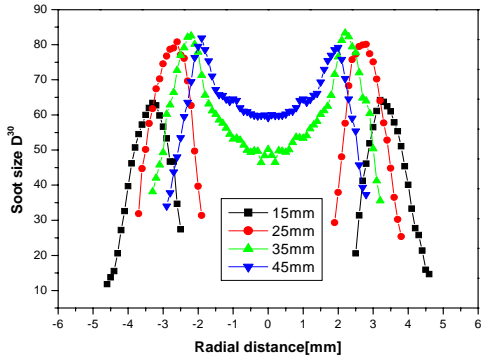


Fig.7 Mean diameter of soot particles (D_{30}) measured by LEM/LIS

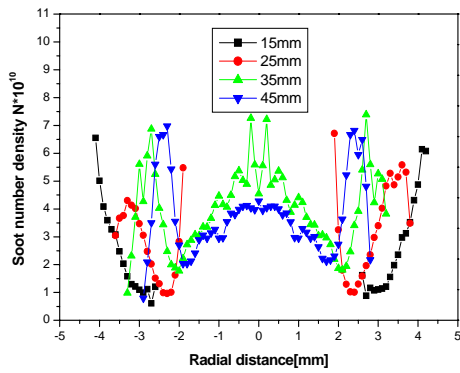


Fig.8 Number density of soot particles measured by LEM/LIS

는 그림으로서, 비연입자는 응집작용 (coagulation) 성장하게 되고 이때 입자수의 감소는 Smoluchowski(13) 식을 따른다고 알려져 있는데,

3.2

Fig.9

15mm 25mm

가
가

Fig.9

[4] [5]

가

($\approx 65\text{mm}$)

가

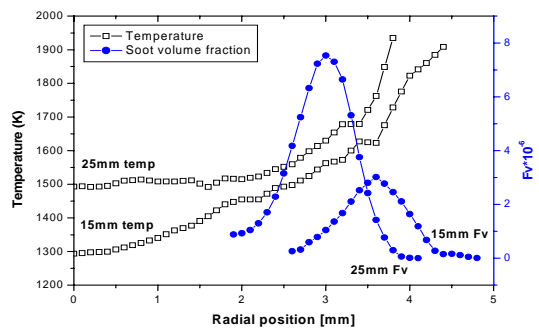


Fig.9 Temperature and soot volume fraction at 15mm and 25mm positions

또한 Fig.10 180scc/m 확산화염의 중심을 기준으로 y 1mm 간격으로 동축류 버너 노즐 약 3~4mm 서부터 화염 끝까지 측정 한 온도의 결과이다.

Fig.10

3~4mm

가
가

가

가

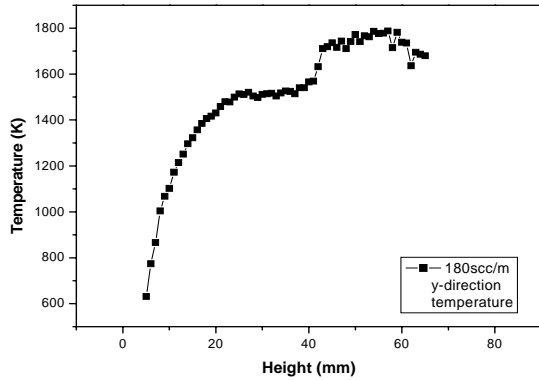


Fig.10 y-direction's temperature from the end of flame to the top of flame

4.

1)

가

2)

가
가

3)

PAH가
가

y-

가

[2003E-TR03-P-01-0-000-2003]

- (1) Gülder, O. L., 1992 "Soot Formation in Laminar Diffusion Flames at Elevated Temperatures" *Combust. Flame*, Vol. 88, No 1, pp 74-82
- (2) Hura, H. S. and Glassman, I., 1987 "Fuel Oxygen Effects on Soot Formation in Counterflow Diffusion Flames.", *Combustion Science and Technology*, Vol. 53, pp.1-21
- (3) Hura, H. S. and Glassman, I., 1988 "Soot Formation in Diffusion Flames of Fuel/Oxygen Mixtures.", *Twenty-Second Symposium on Combustion*, The Combustion Institute, Pittsburgh, pp.371~378
- (4) Santoro, R. J., T. T., Horvath, J. JJ., and Semrjian, H. G., 1984 *Combustion Science and Technology*, Vol. 53, pp.89~115
- (5) Kent, J. H., and Wagner, H. Gg., 1984 *Combustion Science and Technolgy*, Vol. 41, pp.245
- (6) Mcnealy, Charles S., Ümit Ö. Köylü, Pfefferle, Lisa D. and Rosner, Daniel E., 1997 *Combustion and Flame*, Vol. 109, No.4, pp.701-720
- (7) Lee. K. W, Jung. Y. L, Jung. J. S, 1999,"Temperture measurement in concentric diffusion flames by rapid insertion technique", Vol.4, No.2, pp.75-83
- (8) Dobbins, R. A., Santoro, R. J. and Semerjian, H. G., 1984 "Soot particle measurement in Diffusion Flames" *Combustion and Flame*, Vol.92, pp208~237
- (9) Haynes, B. S. and Wagner, H. Gg., 1981 "Soot Formation" *Prog, Energy Combustion. Sci.*, Vol. 7, pp 229-273
- (10) Smith, O. I, 1981"Fundamentals of Soot Formation in Flames with Application to Diesel Engine Particle Emission." *Prog. Energy Combust, Sci.*, Vol. 7, pp275-291
- (11) Lee. W. N, Song. Y. H, Cha. M. S,1997,"OH radical distribution and sooting characteristics in Co-flow diffusion flames," 15th Kosco Symposium, pp.1-11
- (12) Holman, J. P., 1990, *Heat Transfer*, McGraw-Hill

- (13) Park. J. C, Kang.. K. H, Park. C. P, 1985,
Temperature, Korea Research Institute of Standards
and Science, pp.105-208