TDLAS에서 temperature binning 방법을 이용한 온도 측정에 대한 실험적 연구

윤성운* · 김세원* · 신명철* · 이창엽*†

Experimental study on TDLAS temperature profile measurement using temperature binning method

Sungwoon Yoon*, Sewon Kim*, Myungchul Shin*, Changyeop Lee*†

ABSTRACT

Tunable diode laser absorption spectroscopy(TDLAS) measurement techniques for several gases densities and temperatures have been applied in industrial combustion systems. Accurate measurement of temperature profile is very important, especially in power plants and heating furnaces. So profile fitting and temperature binning methods are new issue for accurate measurement of temperature in laser gas sensing. Temperature binning method is applied in this study for the measurement of temperature profile using tube furnace with three temperature zones. In this study the temperature profiles of tube furnace is accurately measured within 5% error, and this technique is proved to be very promising in the field of temperature profile measurement.

Key Words : TDLAS, Diode laser, Temperature profile, Temperature binning, gas sensing

TDLAS를 이용한 가스 계측은 기본적으로 선적분 방법이다. 그러므로 측정된 가스의 농도 및 온도는 레이저가 지나간 선의 평균 농도와 온도로 계산되어진다. 때문에 선의 평균 온도가 아닌 온도 분포를 계산하기 위해서는 보다 많은 계산식이 필요하다. Profile fitting 방법과 temperature binning 방법은 계산에 필요한 미지수와 계산식을 줄여 빠르게 선온도 분포를 측정할 수 있도록 하는 방법들이다.

그중 temperature binning 방법은 측정 가능한 온도를 임의로 나누어, 간소화된 온도 분포를 바탕으로 계측 변수를 줄여준다[1]. 예를 들면 측정 가능 온도 구간이 1000-1600℃이라고 하면 200℃간격으로 세 구간을 나눌 수 있으며, 혹은 100℃간격으로 여섯 구간으로 나눌 수도 있다. 이때 구간이 많아질수록 측정량이 많아지며, 시스템도 복잡해진다.

Temperature binning 방법은 기존의 TDLAS의 직접흡수기법(DAS, Direct Absorption Spectroscopy)에서부터 출발한다. 흡광도[2]의 적분 값은 다음과 같은 식으로 정리할 수 있다.

$$A_i = P\int_0^L X_{abs}(x) S_i[T(x)]dx \qquad (1)$$

위 식에서 흡광도의 적분값 A_i는 압력, P와 몰분율, X_{abs}, 그리고 선강도, S_i로 표현 할 수 있다. 또한 레이저가 측정을 위해 지나가는 길이는 L이며, x는 레이저가 지나갈 때의 위치이다. 위 식을 온도에 따라서 다음과 같이 이산화 할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} S_1(T_1) & S_1(T_2) & \cdots & S_1(T_n) \\ S_2(T_1) & S_2(T_2) & \cdots & S_2(T_n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_m(T_1) & S_m(T_2) & \cdots & S_m(T_n) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P(X_{abs}L)_1 \\ P(X_{abs}L)_2 \\ \vdots \\ P(X_{abs}L)_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{bmatrix} \qquad (2)$$

압력과 몰분율이 일정하다고 가정하면 식 (2)는 길이에 대한 선형 방정식이다. 그러므로 linear least-square fitting을 통해 측정 길이 전체에서 각각의 온도 구간이 존재하는 길이를 계산할 수 있다.

* 한국생산기술연구원 에너지시스템연구그룹
† 연락저자, cylee@kitech.re.kr
TEL : (041)5898-414 FAX : (041)-5898-323

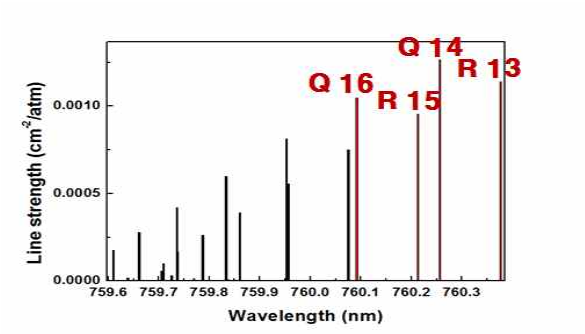

Fig. 1 Temperature binning and result

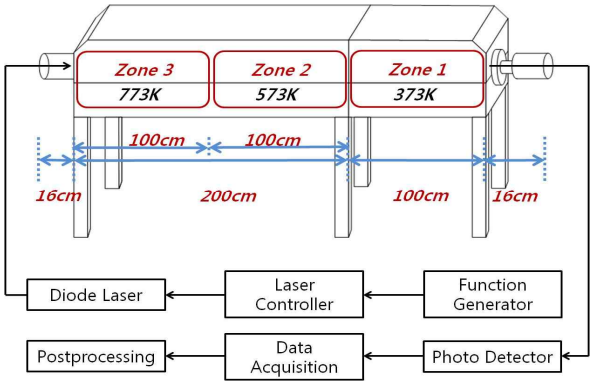

Fig. 2 Schematic of the experimental setup

본 연구에서는 측정 구간을 0-600℃로 하고 200℃ 간격으로 온도 구간을 나누었다. 이와 같이 온도 구간을 나누었을 때 온도 계측에 필요한 서로 다른 중심파장의 흡수 신호가 4개 이상 필요하다[1]. 다양한 조건[3]을 만족시키는 서로 다른 네 개의 파장을 Fig. 1과 같이 선택하였다. Table 1은 선택된 파장들과 500℃에서 각각의 파장들의 선강도이다.

Fig. 2는 실험 장치 구성도이다. Function generator에서 발생된 1kHz의 ramp 파형을 laser controller에 보내어 다이오드 레이저의 파장을 제어하였다. 제어되어진 레이저 빛은 O_2 가스의 에너지 흡수가 일어나며 tube furnace를 통과한다. 에너지 흡수에 의해 강도가 약해진 레이저 빛은 photo detector에 의해 강도가 측정되어지며 측정된 강도는 DAQ를 통해 컴퓨터에 전달된 후 후처리 과정을 통해 결과를 도출한다.

실험은 나누어진 세 개의 존에 각각 100℃, 300℃, 500℃로 세팅을 한다. 세팅 온도의 순서를 바꾸어가며 총 6가지 경우를 모두 실험하였다. 실험 결과는 모두 동일하게 나왔다. Fig. 3은 이들 경우의 실험 결과이다. 본 실험에서 tube furnace의 양 끝단의 온도를 무시하고 실험을 하

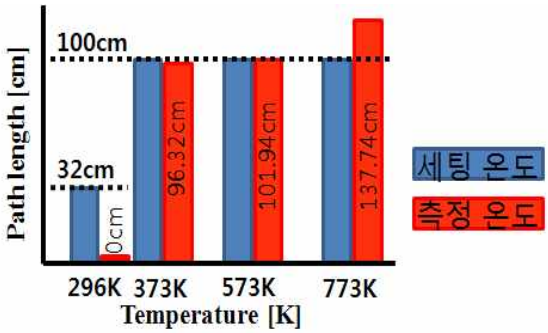

Fig. 3 Temperature binning result

Table 1 Sub-models in modeling

No.	Wave length	Line strength @773K
Q16	760.0933nm	0.000458 cm^{-2}/atm
R15	760.2147nm	0.00042 cm^{-2}/atm
Q14	760.2579nm	0.00047 cm^{-2}/atm
R13	760.3783nm	0.000425 cm^{-2}/atm

였기 때문에 500℃온도의 측정 길이가 다소 큰 오차를 가지고 있었지만, 전체적으로 5%이내의 오차 범위를 가졌다. Temperature binning 방법은 측정 온도의 길이는 알 수 있지만 그 온도 분포가 어디에 존재하는지에 대한 정보를 주지 않는 단점이 있으며 이에 대한 연구가 필요하다.

후 기

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (No. 20101020100170)

참고 문헌

[1] X. Liu, J. B. Jeffries, Ronald. K. Hanson, "Measurement of nonuniform temperature distributions using line-of-sight absorption spectroscopy", AIAA J., Vol. 45, No. 2, 2007, pp. 411-419.

[2] S. Kim, M. Shin, C. Lee, S. Youn, Y. Kim, "The experimental study on simulaneous measurement of O_2 concentration and temperature of flue gas using a single diode laser", J. Kor. S. Comb. Vol. 17, 2012, pp. 12-21.

[3] X. Zhou, X. Liu, Jeffries, Ronald. K. Hanson, "Selection of NIR H_2O absorption transitions for in-cylinder measurement of temperature in IC engines", Meas. Sci. Technol. Vol. 16, 2005, pp. 2437-2445.