

## 실시간 공연비 제어를 위한 화염 자발광 측정 실험

이진기\* · 권민준\* · 이창엽\* · 김세원\* · 신명철\*†

### An Experiment of Flame Chemiluminescence Measurement for Real Time Air/Fuel Ratio Control

Jin Ki Lee\*, Min Jun Kwon\*, Chang Yeop Lee\*, Se-Won Kim\* and Myung Chul Shin\*†

#### ABSTRACT

The objectives of this study are to examine the variation of flame chemiluminescence on flame condition and to evaluate the possibility to apply the optical sensor for air/fuel ratio control. Flame chemiluminescence is one of the most important factor to judge the real time flame condition like a air/fuel ratio. In this paper, it is experimentally found that a strong relationship between the air/fuel ratio and optical element output (i.e., photo diode) should be existed. This is verified through the flame spectral analysis for various PD output signal.

**Key Words** : Air/fuel ratio control(공연비 제어), Photo diode(포토다이오드), Flame chemiluminescence(화염 자발광), Premixed flame(예혼합 화염)

연소시스템의 보다 높은 운전효율 증가를 위해서는 높은 Turn-Down 영역을 가지고 낮은 공연비 상태를 일정하게 유지하는 안정적 운전이 필요하다. 이를 위해서는 전부하 영역에 걸친 연속적인 공연비 비례제어가 요구되며 이는 빠른 응답성을 가진 실시간 공연비 계측을 통해 가능하게 된다. 최근 포토다이오드와 같은 광학소자들의 기술 발전에 따라 다양한 분야에서 이를 센서로 활용할 수 있는 기술들이 개발되고 있다. 포토다이오드는 빛 에너지를 전기에너지로 변환하는 저가의 광센서로서 응답속도가 빠르고, 감도 파장이 넓으며, 광전류의 직진성이 양호하다는 장점이 있다. 연소시스템의 경우 연료와 산화제가 혼합 연소되면서 화염 내 화학반응에 의해 여러 화학종들이 생성되고, 이러한 화학종들의 발광신호를 광학소자를 이용하여 분석할 수 있다. 이처럼 포토다이오드와 같은 광학소자의 사용으로 화염 발광신호를 측정 및 분석하여 화염 상태의 직접적 실시간 진단이 가능하다. 화염 발광신호를 통해 계측된 연소반응상태에 대한 데이터베이스를 이용하면 발광신호의 크기와 공연비 사이의 상관관계를 도출할 수 있으며, 이를 통해 연소시스템의 전부하영역에 걸친 공연비 실시간 제어가 가능하게 된다.

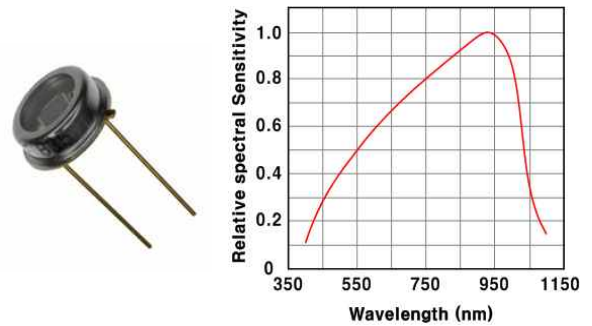


Fig. 1 Spectral sensitivity of Photo diode

Table 1 Specification of Photo diode

Wavelength of peak sensitivity $\lambda_{peak}(nm)$	920
Range of spectral bandwidth $\lambda_{0.5}(nm)$	550~1040
Angle of half sensitivity (degree)	$\pm 50$
operating temperature range ( $^{\circ}C$ )	-40~125
Short circuit current ( $\mu A$ ) at 1klx, 5V	60

\* 한국생산기술연구원 에너지시스템연구그룹  
† 신명철, [mcschin@kitech.re.kr](mailto:mcschin@kitech.re.kr)  
TEL : (041)589-8527 FAX : (041)-589-8548

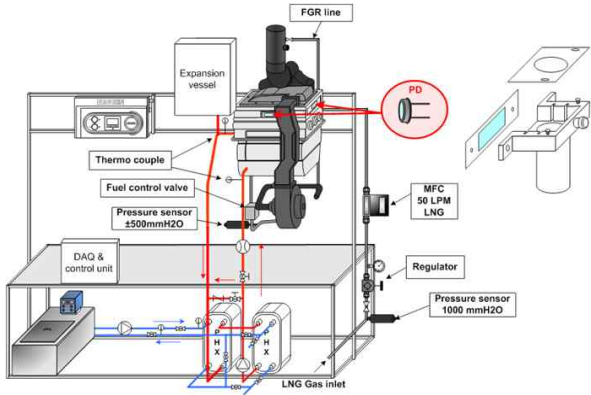


Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus

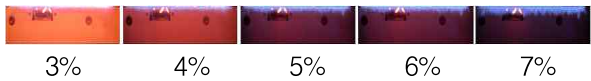


Fig. 3 Flame visualization for various excess air ratio

그림 1과 표 1은 본 연구에 사용된 포토다이오드의 특성을 보여준다. 400 nm 이상의 가시광선 영역에서 1000 nm 대의 적외선 영역을 측정할 수 있으며, 920 nm의 피크 파장을 가진다.

이러한 포토다이오드를 그림 2에 나타난 바와 같이 16,500 kcal/h 급 가정용 보일러에 적용하여 부하 및 공연비에 따른 신호의 변화를 관찰하였다. 포토다이오드는 화염면 높이와 일치하게 연소기의 가시장을 통해 관찰할 수 있도록 설치되었으며, 화염 복사열에 의한 PD 온도상승을 방지하기 위하여 급기를 이용한 PD 냉각장치를 설치하였다.

그림 3과 4는 공연비에 따른 화염 가시화 사진과 부하 및 공연비에 따른 PD 신호의 변화를 보여준다. 모든 부하영역에서 과잉공기비가 낮아질수록 PD 출력신호가 상승하는 경향을 나타내었다. 이는 포토다이오드가 공연비 제어 센서로서의 기능을 가능케 하는 결과로써, O<sub>2</sub> 변화에 대해 안정적인 출력 값을 보여준다. 이러한 PD 신호의 변화가 화염 자발광에 의한 것임을 확인하기 위하여 스펙트로미터를 사용하여 화염 스펙트럼 분석을 실시하였다.(그림 5) 파장분석 결과 이전 연구들과 마찬가지로 OH(308.7 nm), CH(432.2 nm), C<sub>2</sub>(511.3 nm) 등의 피크를 가진 파장분포를 보여주며 공연비에 따른 화염 자발광 세기의 변화를 확인하였다.[1, 2] 포토다이오드 신호와의 비례적 상관관계를 입증함으로써 공연비 제어 센서로서의 적용가능성을 확인하였다. 포토다이오드의 실제 시스템 적용을 위해서는 제어알고리즘의 개발이 요구되며 화염특성에 따른 신호 안정성 및 재현성 확보가 필요할 것으로 사료된다.

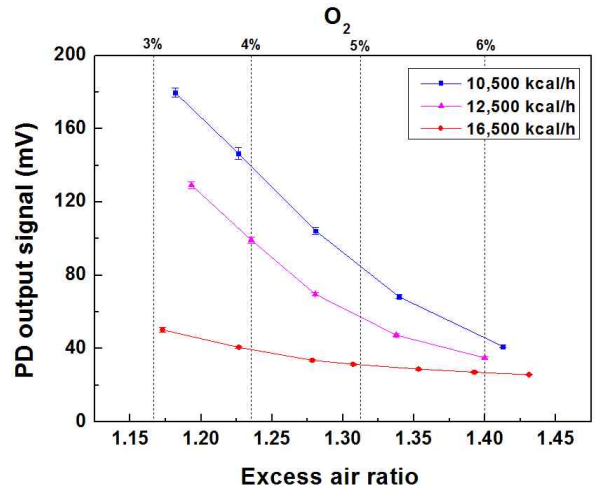


Fig. 4 PD output signal for various load and excess air ratio

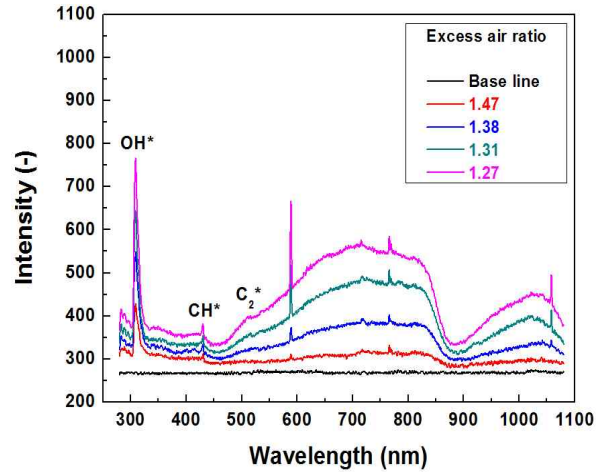


Fig. 5 Flame spectral analysis for various excess air ratio

## 후 기

본 연구는 민간수탁연구사업을 통한 경동나비엔의 지원으로 수행되었습니다.

[1] D. Nicolas and C. Sebastien, "Combustion control and sensors : a review", Progress in Energy and Combustion Science, Vol. 28, 2002, pp. 107-150.  
 [2] Zimmer L., Tachibana S., Yamamoto T., Kurosawa Y., Suzuki K., "Evaluation of Chemiluminescence as Sensor for Controlling Lean Premixed Combustion," Proc. 4th Symp. on Smart Control of Turbulence (2003).