

화염의 광학적 분석에 의한 보일러의 실시간 능동 제어

추성호, 이충환
 (㈜플렉스시스템)

Real-time Active Control by Optical Analysis of Combustion Flame for Boiler System

Seongho Choo, Choong-Hwan Yi
 FLEX System Co., Ltd.

Abstract - This paper is for a Real-time Active Control System to operate a boiler. By sensing of flame we wanted to get status of a furnace as many as possible, like load, efficiency, and/or amount of pollutant. These data can be used to make optimal running point by controlling the ratio of air and fuel. So the last object is to make a closed actual control loop from optical head to valve controllers. The first job was to design and to develop a optical data acquisition system. including optical sensor module. And we gathered flame data in variable situations for taking the trend of flame against burning environment. Currently we are developing a general system model, designing some control strategy and testing this active control system.

1. 서 론

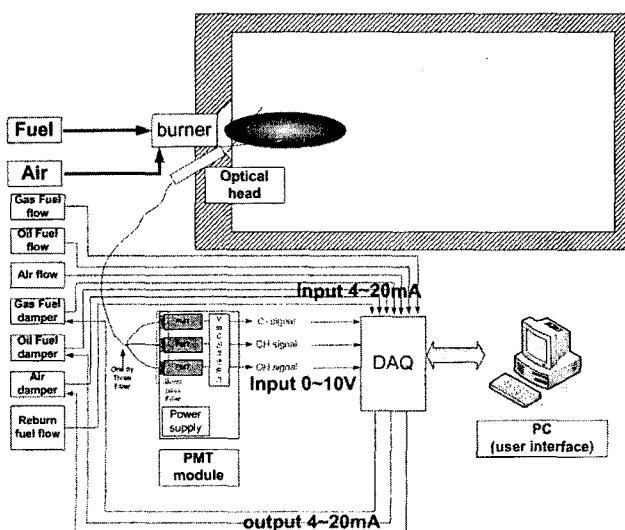
중대형 보일러 시스템에서 에너지의 효율적 이용과 오염물질 감소 방안은 매우 중요한 연구 및 개발 영역이다. 그 한 영역으로 근래에 화학적 발광(chemiluminescence)을 응용한 연구가 활발히 진행되고 있다. 즉, 보일러의 연소 화염을 광학 소자를 이용하여 계속하여 연소로의 상황을 감시 또는 예측하고 그 정보를 바탕으로 보일러의 연소를 제어하는 방법이다.

Higgins[1],[2] 등은 증류 예혼합화염에서 당량비와 압력변화에 따른 C2*와 CH*의 강도가 당량비에 비례하며 이를 온도와 압력의 함수로 나타내었다. 또한 Kojima[3], Ikeda[4] 등은 증류 예혼합화염에서의 당량비와 자발광 강도비의 선형적 관계가 난류 예혼합 및 확산화염에서도 적용됨을 밝혔고, 이를 화염면의 국소지점의 구조를 파악하는데 활용하였다.

Morrell[5], Muruganandam[6] 등은 당량비와 특정화학종간의 화염발광 신호비에 대한 선형적 관계를 도출하여 한계 희박연소 근처에서 가스터빈연소기의 운전제어를 위한 가능성을 제시하였고, Shahla[7], Carlos[8] 등은 순산소 유리용해로 시스템에서 화염 자발광 계측에 의한 멀티버너(Multi Burner) 시스템의 효율향상에 관한 연구를 수행하였다.

본 연구에서는 이러한 계측 기법을 상용버너에 적용하여 가스화염 및 경유화염에서 과잉공기비에 따른 Chemiluminescence의 특징의 변화에 대하여 실험적인 기초연구를 수행하였고, 실시간 계측 시스템을 위한 방법을 제시하고자 한다.

2. 시스템 구성



〈그림 1〉 시스템 구성도

2.1 시스템 하드웨어

본 시스템은 중대형 상용 보일러 시스템을 타겟으로 하여 설계되었다. 현재 제작하고 있는 보일러는 가스 또는 경유를 연료로 하는 고효율·저공해 보일러로서 다중연소하계급 특수하게 설계된 버너 노즐이 사용되며, 연소 후단에서는 재연소(reburn)가 이루어지는 구조이다.

전체 시스템의 구성은 <그림 1>과 같이, 광학 측정은 버너 노즐 부분에 설치하게 되며, 광조준기(collimator)를 통해 수광된 화염광은 광섬유를 통해 광측정 모듈(PMT module, Photo Multiplier Tube)로 직접 전달하게 되며, 모듈 전단에서 광분배기를 통해 C2*, OH*, CH* 각각을 담당하는 PMT로 분배된다.

PMT 단에서는 광학 필터를 통해 각 파장에 해당하는 광만 받아서 전기적인 신호, 전압으로 변환하여 데이터 획득 시스템(DAQ, Data Acquisition System)으로 전달된다. PMT는 매우 민감한 소자로서 매우 정밀한 정전류 공급기로 전원이 공급되고 있다.

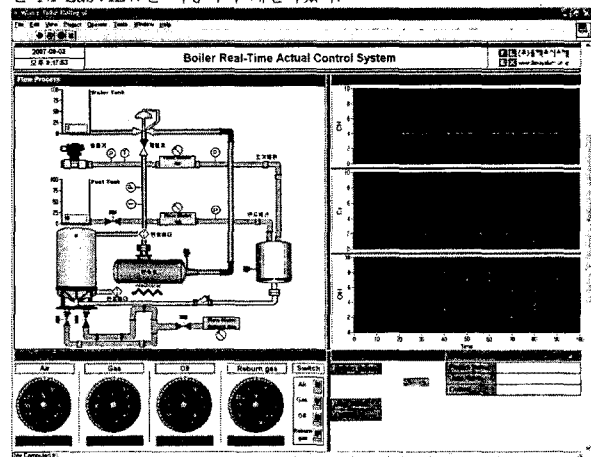
데이터 획득 시스템은 각각의 밸브와 유량계에서 전류값으로 들어오는 개도(開度)와 유량값도 함께 받아들여, 제어 컴퓨터에서 연산된 밸브 제어값을 밸브 액츄에이터로 전달하는 역할도 함께 담당한다.

제어 컴퓨터는 데이터 획득 시스템과 USB 라인으로 연결되어 있으며, 데이터 획득 시스템을 통해 들어온 모든 상황 데이터를 이용하여 제어 알고리즘을 통해 실시간으로 각종 밸브의 개도를 조정하는 명령을 실시간으로 계산하여 데이터 획득 시스템을 통해 능동 제어를 수행하게 된다.

현재는 시스템의 특성 파악 및 제어 알고리즘 설계, 최적화를 위해 연소 가스 정보 등 다양한 데이터들을 취합하고 있으나, 최종 목표는 광 신호만을 입력으로 하고 밸브 제어를 출력으로 하는 간단한 시스템으로 구성하는 것이다. 또한 제어 컴퓨터도 저가로 재설계될 예정이며, 제어 패널 화면을 통해 현재 보일러의 가동 상태를 모니터링하고 각종 스위치 및 밸브 등을 조작할 수 있도록 하고 있다.

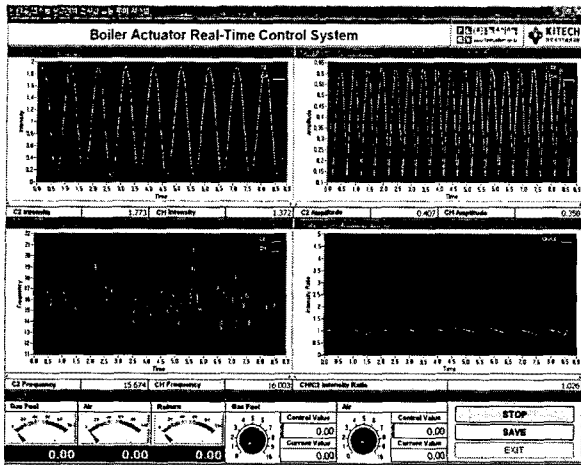
2.2 시스템 소프트웨어

현재 데이터 획득 시스템은 네셔널 인스트루먼트사(NI, National Instrument)의 USB-6259 장비와 일반 PC를 이용하고 있으며, 소프트웨어는 NI LabVIEW를 이용하여 개발하였다.



〈그림 2〉 시스템 감시 및 제어 프로그램

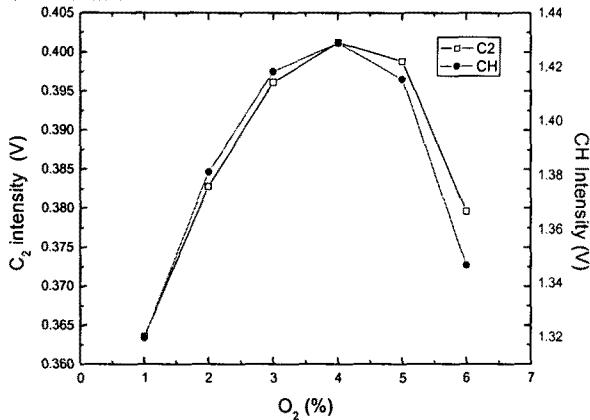
시스템의 전체적인 운용은 <그림 2>와 같은 화면 구성을 가지며, 각종 데이터 분석을 위해서는 <그림 3>를 통하여 최대 350 kS/s의 샘플링 속도로 데이터를 취합하여 분석하며, 상용 시스템에서는 10 kS/s 속도로 운용된다. 화염 발광 신호는 각 화염 파장 별로 실시간으로 평균값과 주파수, Peak to Peak, CH/C2비 등을 계산하여 파일로 저장하고 있다.



〈그림 3〉 데이터 획득 및 해석 프로그램

3. 시험 결과

〈그림 4〉는 특정 부하에서의 C₂와 CH의 라디칼 밝기를 측정된 그래프이다. 배기가스 중의 산소의 양이 4% 부근일 때 최고점을 보이는 경향을 알 수 있다. 이로써 이 부근에서 보일러가 최고의 효율을 나타내고 있음을 유추할 수 있다.



〈그림 4〉 C₂, CH radical intensity at 100,000 kcal/h

〈그림 5〉는 C₂와 CH 라디칼의 비를 그래프 나타낸 그래프이다. 선형적인 모습을 보이며 배기가스 중의 산소의 양에 의해 일정한 경향을 보임을 알 수 있다.

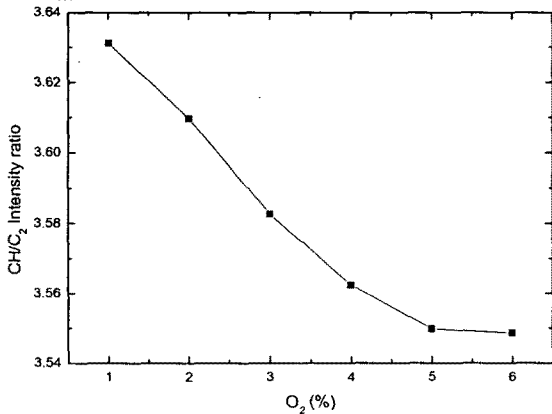


그림 5. C₂, CH radical intensity at 100,000 kcal/h

〈그림 6〉은 각 부하 별로 배기가스의 산소의 농도에 따른 C₂와 CH의 라디칼 비를 종합하여 그린 그림이다. 부하 별로 비의 크기가 다르므로 화염의 광학적 측정을 통해 보일러의 부하를 유추할 수 있다는 사실을 알 수 있으며, 배기가스의 산소 농도에 의해 일정한 기울기를 가지는 모습을 볼 수 있다.

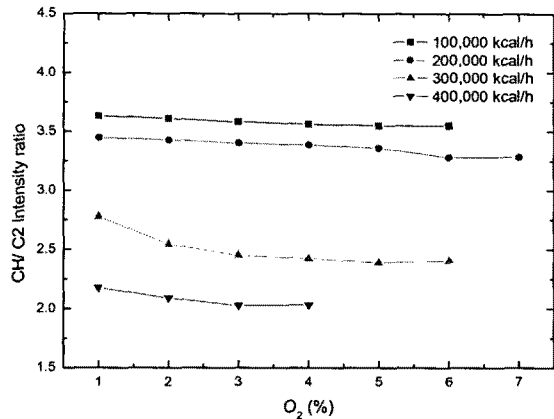


그림 6 CH/C₂ radical intensity

이상의 실험 결과를 비추어볼 때, 각 라디칼은 부하량과 공연비에 의해 일정한 트렌드를 가짐을 알 수 있었다. 이런 데이터를 바탕으로 최적화된 제어 알고리즘이 개발될 수 있으리라고 확신하며, 현재 다양한 운전 환경에서의 화염 라디칼 데이터 수집을 하고 있으며, 조만간 제어 알고리즘 수립과 직접적인 밸브 제어를 통한 보일러의 실시간 최적 성능 제어 시스템 완성될 것으로 예상된다.

3. 결 론

본 논문에서는 보일러 화염의 화학적 발광을 계측하여, C₂, CH, OH 각 연소 과정을 계측하여 현재 화염의 효율성과 공해 물질 발생량을 계산하여, 최적 효율과 최저 공해 운전 상태를 유지할 수 있도록 공연비를 조절하기 위해, 연료와 공기 주입 밸브의 개도를 실시간으로 직접 제어할 수 있도록 한 시스템이다.

화염 상태를 광조절기와 광초점기를 통해 받아들여 광섬유를 통해 전달 받고, 광학 필터를 사용하여 각각의 라디칼 별로 전기 신호로 변환한 것을 입력으로 하여 제어 알고리즘을 거쳐 실시간으로 각종 밸브를 조절한다.

〔참 고 문 헌〕

- [1] B. Higgins., M. Q. McQuay., F. Lacas., J. C. Rolon., N. Darabiga., and S. Candel., 2001, "Systematic Measurements of OH Chemiluminescence for Fuel-lean, High-pressure, Premixed, Laminar Flames," Fuel, Vol. 80, pp.67-74.
- [2] B. Higgins., M. Q. McQuay., F. Lacas., and S. Candel., 2001, "An Experimental Study on the Effect of Pressure and Strain Rate on CH Chemiluminescence of Premixed Fuel-lean Methane/air Flames," Fuel, Vol. 80, pp. 1583~1591.
- [3] J. Kohima, Y Ikeda, and T. Nakajima, 2000, "Spatially Resolved Measurement of OH*, CH*, and C₂* Chemiluminescence in the Reaction Zone of Laminar Methane/air Premixed Flames," Proc. of the Combustion Institute, Vol. 28, pp. 1757~1764.
- [4] Y. Ikeda, J. Kojima, T. Nakajima, F. Akamatsu, and M. Katsuki, 2000, "Measurement of the Local Flamefront Structure of Turbulent Premixed Flames by Local Chemiluminescence," Proc. of the Combustion Institute, Vol. 28, pp. 343~350.
- [5] M. R. Morrell., J. M. Seitzman., M. Wilensky., E. Lubarsky., J. Lee., and B. Zinn., 2001, "Interpretation of Optical Emissions for Sensors in Liquid Fueled Combustors," Proc. of 39th Aerospace Sciences Meeting & Exhibit.
- [6] T. M. Muruganandam., B. Kim., R. Olsen., M. Patel., B. Roming., and J. M. Seizman, 2003, "Chemiluminescence Based Sensor for Turbine Engines," Proc. of 39th Aerospace Sciences Meeting & Exhibit.
- [7] S. Keyvan., R. Rossow., C. Romero., and X. Li., 2004, "Comparison between Visible Near-IR Flame Spectra from Natural Gas Fired Furnace for Blackbody Temperature Measurements," Fuel, Vol. 83, pp.1175~1181.
- [8] C. Romero., X. Li., S. Keyvan., R. Rossow., 2004, "Spectrometer-based Combustion Monitoring for Flame Stoichiometry and Temperature Control," Applied Thermal Engineering, Vol. 25, pp. 659~676.
- [9] Sadakata M. and Beer J.M., 1976, "Spatial distribution of Nitric Oxide Formation Rates in a Swirling Turbulent Methan-Air Flame," Proc. of 16th Symposium(International) on Combustion, pp 93~103.
- [10] Hampartsoumian E., Missagi M., Nimmo W., Pourkashanian M. and Williams A., 1991, "Prediction of NOX emissions from spray combustion," Proc. of the 1st International Conference on Combustion Technologies for a clean environment, Vilamoura (Portugal)