

발전용 미분탄 연소 보일러 화염감시장치의 현장적용에 관한 연구

The study of plant application at flame management system with flame monitoring for pulverized coal firing boiler of thermal power plant

백승엽*, 김승민**
(Seungyeob Baeg, Seungmin Kim)

Abstract - The flame image processing and it's analysis system has been developed for optimal coal firing of thermal power plant, especially for reducing NOx and safe operations. We aimed at gaining the relationship between burner flame image, emissions of NOx and LOI(Loss on ignition) in furnace by utilizing the flame image processing methods. And the relationship determines quantitatively the conditions of combustion on the individual burners. The test was conducted on Samchonpo thermal power plant #4 unit(560MW) of KOSEP which has 24 burners. The system simplified the burner adjustment works in accordance with the real time trending of flame behavior like NOx profiles and unburned carbon profiles for individual burners. But, This kind of conventional method increases the cost as the number of burner are increased. Also there is a difficulty to measure exhausted gas of each burner because of measurement errors. This paper intends to propose the useful "Flame Monitoring System" that can find Low NOx and LOI at the upper furnace and to compare with the conventional System.

Key Words : flame monitoring, LOI, NOx, image processing, thermal power plant

1. 연소진단 장치의 개요

1.1 연소진단 장치의 배경

최근, 국민 생활수준의 향상과 함께 환경보호에 대한 관심이 높아짐에 따라 연소효율의 극대화에 못지 않게 공해문제가 매우 중요시되고 있다[1-4]. 대기오염 배기가스 중에서 그 발생 메카니즘이 연료의 성질에 주로 관련된 이산화황을 제외한 연소 조건에 관련이 있는 질소산화물, 일산화탄소, 미연탄화수소, 매연 등의 저감이 연소를 이용한 열기관의 설계와 운영에 새로운 목표로 추가된 것이다. 이러한 목표를 달성하기 위해서는 인간의 감각과 운전자의 경험에 의존하는 전통적인 최적 연소 상태 관리 및 감시 기술 대신에 최근에 전자 공업의 급격한 발달에 의해서 고성능화된 수광부(Receiving optics) 센서와 컴퓨터를 이용하여 정량화가 가능하고 운전자의 경험에 덜 의존하는 보다 지능적인 최적 연소 상태 관리 및 감시 기술의 개발이 필요하다.[5] 지능적인 최적 연소 상태 관리 및 감시 기술은 화염의 형상과 휘도 이외에 측정된 화염의 온도, 이들 정보와 대기오염 배기가스의 발생량과의 연관성(Correlation)을 이용하고[6-7] 나아가 연소 상태를 자동 제어하는데 기초로 사용된다.

1.2 연소진단 장치 방식

최적 연소 상태 관리 및 감시 기술은 보일러 고온 환경에서도 견딜 수 있는 광학렌즈와 냉각 장치를 갖춘 화염수광부와 이 수광부를 통해 획득한 화염영상을 분석하여 필요한 정보를 도출해내는데 이용되는 감시진단 처리부로 나누어진다. 화염수광부는 화염 속의 기체 가스에서 발생하는 자발광(Emission)과 화염 속의 주요한 고체인 매연이 발생하는 열복사(Thermal radiation)에 의한 자발광의 정량화된 이차원 화상을 획득하게 된다. 감시진단 처리부는 지능적인 최적 연소 상태 관리 및 감시 기술을 위하여 수광부에서 획득한 화염영상을 화상처리하여 노내 NOx, 미연분의 분포 및 경향을 산출하는 기능이 있다. 또한 화염영상의 다중 모니터링, 버너별 화염 데이터의 비교, 분석을 통한 화염의 안정성 판정, 연소기의 이상 검출, 인체에 해로운 대기 오염물의 지나치게 많이 발생하는 경우의 경보 기능 등을 포함하도록 하였다.

본 논문에서는 개별 버너 및 보일러 연소장의 연소상태를 정량화 할 수 있는 화염감시진단 시스템의 구성 및 영상처리 방법을 기술하고, 실증 플랜트에서의 실험결과를 통한 화염감시진단장치를 소개하고자 한다. 또한 기존의 개별 버너 설치 방식의 비용 과다 및 측정의 오차를 줄이기 위한 화로 상단에 설치되는 화염수광부를 통한 방식을 제안한다.

2. 화염영상과 화염의 관계

화염영상의 정량적 분석을 위해서 본 연구에서는 HSI 모델을 이용하였다. HSI 모델의 기본 요소는 색도(Hue), 채도

저자 소개

* 正 會 員 : 두산중공업(주) 기술연구원 원자력기술개발팀

** 正 會 員 : 두산중공업(주) 기술연구원 원자력기술개발팀

(Saturation), 휘도(Intensity)이다. Hue 성분은 가장 큰 에너지를 가지고 있는 파장(Dominant wave length)을 의미한다. 석탄연소의 특성상 흑체로에서의 발광과 유사한 성향을 보이므로, 표준 흑체를 이용한 화염영상과 흑체의 영상정보를 실험해 보았다. 화염 영상의 정량화에 사용된 실험장비는 한국 표준 연구원의 보유의 흑연관 흑체로 (2" Dia blackbody type IV, Thermogage, Inc)를 대상으로 하였다. 이 흑체로는 내부의 흑연관을 전기저항으로 이용하여 가열할 때, 가열된 흑연관으로부터 흑체광 2" 직경의 구멍을 통해 방사되도록 설계되어 있다.

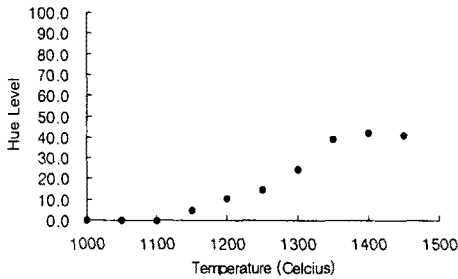


Fig. 1 Blackbody temperature vs. Image hue level

실험방식은 1000℃에서 2000℃까지 50℃단위로 흑체의 온도를 증가시키면서 흑체광을 카메라를 통해서 촬영하였다. 그림 1은 실험 결과 영상의 Hue는 1100℃에서 1450℃ 사이의 온도에 비례하는 비례하는 것을 보여준다. 일반적인 발전소 실제 화염 온도가 900℃ ~ 1600℃인것을 감안하면 영상의 Hue 성분을 이용한 화염 온도의 상관도 유추가 가능함을 알 수 있었다. CCD 카메라의 계측 가능한 최장 파장을 max라 하고 최단 파장을 min 이라 하면, 화염 발광의 파장과 Hue Level간의 상관관계식은 식1과 같다.

$$\lambda = - \frac{\lambda_{\max} - \lambda_{\min}}{\text{Quantity Level}} \text{Hue} + \lambda_{\max}$$

$$\text{Hue} = \frac{\text{Quantity Level}}{\lambda_{\max} - \lambda_{\min}} (\lambda - \lambda_{\min}) \quad (1)$$

위식에서 양자화 레벨(Quantification level)은 영상취득장치에 내장되어 있는 A/D 변환기의 분해능을 의미한다.

3. 화염영상과 화염의 구성

화염감시진단 시스템의 구성은 그림 2에 도시하였다. 시스템 하드웨어는 각 버너의 화염영상을 획득하는 화염 수광부(Optic acquisition units)와 포착된 개별 화염영상의 분석 및 진단처리를 담당하는 감시진단부 (DAMOS panel)로 나뉘어진다.

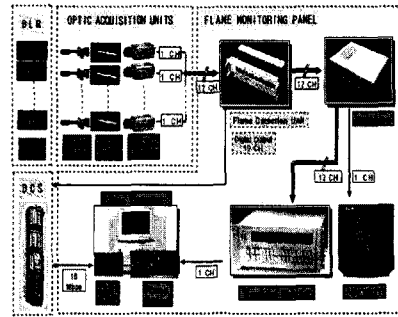


Fig. 2 Apparatus configuration for flame monitoring and diagnostics

그림3은 화염감시진단 장치의 출력 형태인 화염감시 화면을 보여준다.

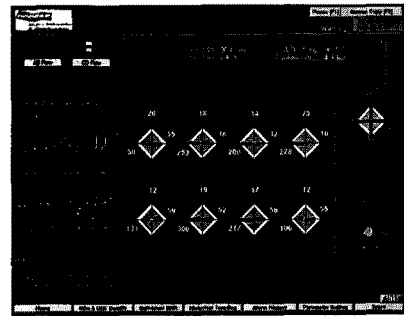


Fig. 3 Monitoring screen for flame monitoring and diagnostics

4. 삼천포 화력발전소 적용운전 개요

삼천포화력발전소는 국내 최초, 최대 석탄발전소 발전소로서 설비용량이 총 324 만 kW로 1, 2, 3, 4호기는 각 56만 kW, 5, 6 호기는 50만kW 로 운전중이며, 본 논문에서는 4 호기 보일러의 AB단과 CD단에서 실험을 수행하였다. 본 실증 시험에서는 그림 4와 같이 좌우상하로 설치 각을 조절할 수 있는 화염수광부(Optic acquisition unit) 8 Unit를 제작하

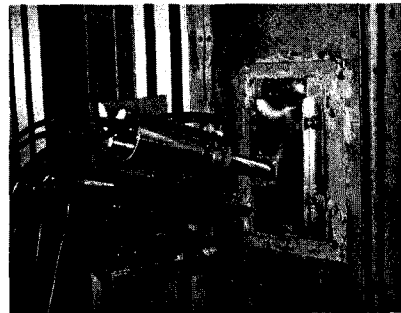


Fig. 4 Optic acquisition uni at Burner Side

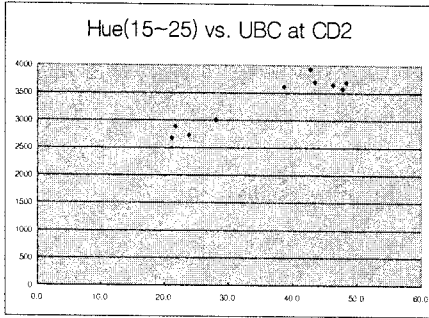


Fig. 5 Hue level vs. LOI at AB elev. 2 corner

여 AB단,CD단에 각 코너별로 화염감시창 부위에 설치하였다. 그림 5은 CD2번 코너에서의 LOI 측정치와 영상의 색도 레벨을 보여준다. LOI의 경우는 색도의 저온부 영역이 많음에 따라 값이 정비례함을 알 수 있었다.

5. 새로운 방식의 화염감시장치

그림 6은 기존의 각 버너의 설치된 화염수광부를 통해서 입력된 화염영상을 보여준다, 각 단에서 4개의 Corner에 설치된 화염영상은 각 버너의 상태를 잘 알려주는 장점이 있는 반면에 버너 수의 증가에 따른 설치 및 유지보수비의 증가가 단점이다, 또한 석탄 연소의 특성상 10~50%의 미연분이 노즐 부분에서 발생함에 따른 측정 오차가 많이 발생한다. 이를 해결하기 본 논문에서는 그림 7과 같이 화로 상부에 설치된 노내 감시 카메라 방식의 화염진단 방식을 제안한다, 이 방식에 의하면 화염수광부의 숫자를 줄이면서 화로 전체적인

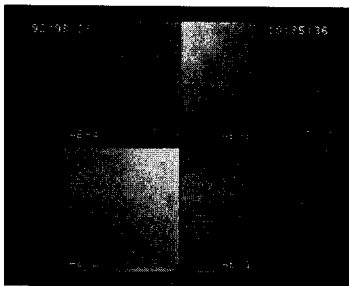


Fig. 6 4 Corner flame image at AB elev.

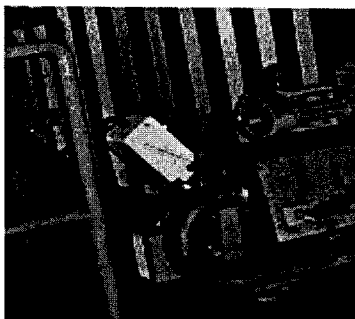


Fig. 7 Optic acquisition uni at uocer furnace

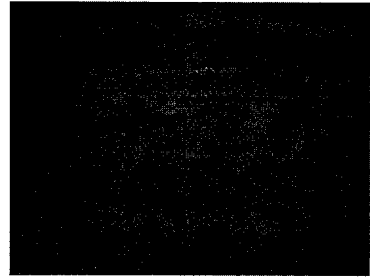


Fig. 8 flame image at upper furnace

미연분에 의한 연관된 화염영상을 얻을 수 있는 장점이 있다. 그림 8은 그림7의 카메라에 의한 화염 영상이며, 이 영상을 이용하여 화로 전체의 LOI 및 NOx의 상태를 기존의 방식으로 감시가 가능하다.

결론

본 논문에서는 보일러 화염의 정량적 해석을 통한 연소진단 방식을 이용하여 상업운전중인 보일러에서 실증 실험을 수행하였다. 사용된 연소 지표로는 NOx 및 미연분(LOI)를 이용하였다. 또한 기존 각 버너에 설치하던 화염수광부를 화로 상부로 옮기는 방식을 제안함으로써 설치비 및 유지보수비의 절감을 가져오고, 측정된 연소 상태의 정량화 된 값의 정확도를 높일수 있게 되었다. 앞으로 추가적인 현장 데이터의 확보 실험을 통하여 신뢰도 높고 가격 경쟁력이 있는 화염감시장치의 실현이 기대된다.

참고 문헌

- [1] Griffiths, J.F. and Barnard, J.A., "Flame and combustion", Blackie Academic & Professional, Glasgow, pp. 108- 112, 141-142, 1995.
- [2] Eckbreth, A.C., Bonczyk, P.A. and Verdick, J.E., "Combustion diagnostics by laser raman and fluorescence techniques", Energy combust. Sci, Vol. 5, pp. 253-322 ,1979
- [3] Hanson, R.K., "Combustion diagnostics: Planar imaging techniques", Twenty First Symposium on Combustion, pp. 1677-1691, 1986
- [4] John A. Dean, "Flame photometry", New York, McGraw-Hill , 1960
- [5] louis, J. and Galbiati, J., "Machine vision and digital image processing Funda - mentals", Prentice-Hall International (1990)
- [6] Kawamura, K., Saito, A., Yaegashi, T. and Iwashita, Y., "Measurment of flame temperature distribution in engine by using a two - color high speed shutter TV camera system" , SAE Technical Paper Series 890320 (1989)
- [7] Jir-Ming Char and June -Hsien Yeh, "The study on propane flame temperature measurement with infrared technique ", Experimental heat transfer, fluid mechanics and thermodynamics pp. 1122-1129 (1993)