

# 보일러 연소관리를 위한 화염감시 시스템 개발에 관한 연구

백운보<sup>†</sup>, 신진호<sup>\*</sup>

(2003년 3월 31일 접수, 2003년 9월 25일 심사완료)

## A Study on Flame Monitoring System Development for Combustion Management of Boilers

Woon Bo Baek and Jin Ho Shin

**Key Words :** Flame Monitoring(화염감시), Image Processing(영상처리), Correlations(상관성), Optic Acquisition Unit(수광부), Frame Grabber(프레임 그래버), NOx(질소산화물), Unburned Carbon(미연 탄소), Combustion Management(연소관리)

### Abstract

Increased energy costs have placed demands for improved combustion efficiency, high equipment availability, low maintenance and safe operation. Furthermore low NOx modification, installed due to strict environmental legislation, requires very careful combustion management. The flame monitoring system has been developed specially to satisfy these requirements. We aimed at gaining the relationship between the burner flame image and emissions such as NOx and unburned carbon in furnace by utilizing the image processing method. For the first step of development, its possibility test was undertaken with bench furnace. The test proceeded to the second step with pilot furnace and the system was observed to be effective for evaluating the combustion conditions. By using this technology, it is possible to perform continuous monitoring of the combustion conditions and instant detection of individual changes for each burner to prevent future loss of ignition. This may contribute to the saving of burner adjusting times for the changes of loads and fuels and to the reduction of the slagging as well.

### 1. 서론

노내 질소산화물의 생성량은 화염의 온도와 연소중 과잉 산소량에 비례하여 증가하는데 최적 공기비에 도달하게 되면 열적 반응에 의한 질소산화물(NOx)의 생성은 극대화되는 반면에, 일산화탄소, 미연 탄소 (Unburned carbon) 등은 연소가 불완전할 때 그 배출량이 증가하게 되는데,<sup>(1)</sup> 실제 현장에서는 연돌 감시 및 운전원의 육안 감식에 의존하는 단계를 벗어 나지 못하고 있어 환경 규제에 대처하기 어려운 실정이다.

최근에 산업용 보일러를 비롯한 에너지 발생기기에 대한 대기 환경 규격이 더욱 강화됨에 따라

전통적인 관심사인 최상의 연소 조건 유지를 통한 에너지 효율 극대화 이외에 대기 오염물 배출 감소화라는 기술적 도전을 맞이하게 되었다. 이와 같은 최적 연소 상태를 유지하도록 하는 연소 관리를 위해서는 노내 질소산화물, 미연분의 분포 감시, 이상 연소 검출 등의 실시간 분석 처리 기능이 요구되며, 연소 상태의 정량화가 가능한 화염 수광부 (Optic acquisition unit) 와 영상 처리 장치가 필요하게 된다.<sup>(2-5)</sup> 화염 수광부에서는 화염 속의 기체 가스에서 발생하는 자발광(Emission)과 화염 속의 주요한 고체인 매연이 발생하는 열복사에 의한 자발광의 정량화된 이차원 화염 영상을 획득하게 된다.<sup>(6,7)</sup>

그리고 영상 처리 장치는 노내 화염의 측정 및 영상 처리 결과와 연소 실험에서 수집한 자료와의 비교 분석을 통해 그 연소장의 이상 상태를 신뢰성 있게 판별하는 평가 항목을 결정하고 질소산화물, 미연 탄소와 화염 영상 데이터의 상관관

<sup>†</sup> 책임저자, 회원, 동의대학교 메카트로닉스공학과  
E-mail : wbaek@dongeui.ac.kr  
TEL : (051)890-2258 FAX : (051)890-1664

<sup>\*</sup> 동의대학교 메카트로닉스공학과

계를 정량적으로 규명한다. 이를 제어 시스템과 연계시켜 적절한 화염 형태 유지를 통해 최적 연소 상태 관리를 가능하게 한다.

그런데 내연기관의 대기 오염물 배출의 계측에 영상 처리 장치를 적용한 연구는 보고된 바 있으나<sup>(8)</sup> 산업용 보일러나 공업로에 적용한 영상 처리 장치 및 화염 감시 기술에 관한 연구보고는 전무한 실정이다.

본 연구에서는 연소 상태의 정량화가 가능한 화염 수광부와 영상 처리 장치를 사용하여 이상 연소 발생을 조기에 검출하며 보일러 연소 관리를 구현할 수 있는 보다 지능적인 연소 감시 기술을 개발하였다. 그리고 화염 착화 실화 판정 기능을 수행하며 이상 연소 발생시 안전 운전 및 최적 상태 유지를 위한 정보를 실시간 처리가 가능토록 하였다. 개발된 기술은 연료별, 부하별 연소 시험을 통한 연소 데이터베이스 구축으로 각종 공업로에 확대 적용하여, 인체에 유해한 대기 오염물 배출의 최소화 외에 슬래깅 저감에 따른 유지 보수 비용 절감, 운전의 안전성 확보로 불필요한 부하 사용 배제 및 전력 낭비 절감이 가능하며, 부하 변동이나 연료 절환에서의 버너 조정 시간을 단축할 수 있다. 본 논문에서는 보일러 연소장의 연소 상태를 정량화 할 수 있는 화염 영상 처리 방법 및 상관성 분석, 화염감시 시스템 구성 및 영상처리 프로그램 그리고 연소 시험로에서의 실험 결과에 대해 기술하고자 한다.

## 2. 화염 영상처리 방법 및 상관성 분석

### 2.1 화염 영상의 정량화

화염 영상의 정량적 분석을 위해서 본 연구에서는 HSI 모델<sup>(9,10)</sup>을 이용하였다. HSI 모델의 기본 요소는 색도(Hue), 채도(Saturation), 휘도(Intensity)이다. 색도 성분은 가장 큰 에너지를 가지고 있는 파장(Dominant wave length)을 의미한다. 화염 발광의 측면에서 색도를 재해석하면 CCD 영상 소자의 면적에 비례하는 화염의 면적에서 일어나는 발광 중 가장 큰 에너지를 가지는 발광을 의미하게 된다. 즉 색도는 화염 영상에서 가장 큰 에너지를 복사하는 반응에 관한 정보를 가지고 있다.

CCD 카메라의 계측 가능한 최장 파장을  $\lambda_{max}$ 라 하고 최단 파장을  $\lambda_{min}$ 이라 하면, 화염 발광의 파장과 색도간의 상관 관계식은 식 (1)과 같다.<sup>(7,9)</sup>

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

$$Hue = \frac{Quantification\ Level}{\lambda_{max} - \lambda_{min}} (\lambda_{max} - \lambda)$$

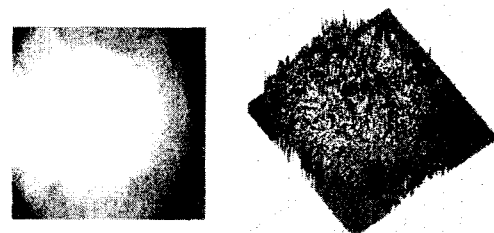
여기서 양자화 레벨(Quantification level)은 영상 취득 장치에 내장되어 있는 A/D 변환기의 분해능을 의미한다. 식 (1)에서 양자화 레벨을 256으로, 가시광의 파장을  $\lambda_{max} = 700\text{nm}$ ,  $\lambda_{min} = 400\text{nm}$ 로 두었을 때 각 발광원의 파장<sup>(7)</sup>에 대응하는 색도 레벨을 Table 1에 정리하여 나타내었다.

### 2.2 화염 영상처리 방법

화염 수광부를 통해 획득한 화염 영상은 카메라가 지원하는 크기에 관계없이 영상 처리 장치에서 설정된 값으로 변환되어 최종 영상의 크기가 결정된다.<sup>(9)</sup> 영상의 크기를 크게 할수록 화염에 대한 더 정확한 정보를 알아 낼 수 있겠지만 영상 처리 속도는 감소되므로 적절한 영상의 크기를 선정해야 하는 데 여기서는  $160 \times 120$  픽셀로 처리한다.

Table 1 The wavelength and Hue level of a source of light for CCD camera

Source of light	Wavelength (nm)	Hue level (0~256)
OH	306, 308, 312, 314	Unobservable
	431, 438	229, 223
C <sub>2</sub>	563, 516, 460~498	116, 157, 205~172
	285~298	Unobservable
	NO <sub>2</sub>	600~875
CO	430	230



(a) Flame image

(b) Hue surface and contour.

Fig. 1 Flame image and its Hue surface and contour.

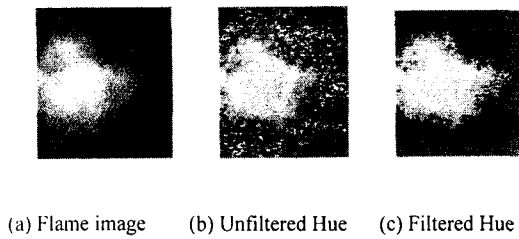


Fig. 2 Filtering effects of flame and its Hue image.

Fig. 1(a)의 버너 화염을 HSI 상태 공간으로 변환한 후 색도 영상에 대해서 3 차원 공간에 도시한 결과를 Fig. 1(b)에 나타내었다.

확률한 화염 영상의 특정 대역별 화소 수와 배출가스와의 상관관계를 도출하기 위한 전처리 과정으로 필터링 및 평균 영상 처리하였다. 필터링은 HSI 상태 공간에서 노이즈 성분의 화소를 제거하여 유효 화염 영역을 추출하는 것으로, 이때 필터링 변수로는 특정의 휘도 값과 채도 값이 사용되는데 버너 종류와 사용 연료에 따라 다른 값이 사용될 수 있다. 본 실험에 사용된 유류 버너 화염에서는 휘도 40 (최대값은 255) 이하인 화소와 채도가 70 (최대값은 360) 이상인 화소의 채도를 각각 0 으로 처리하였으며, 그 예로서, Fig. 2(a)의 버너 화염에 대해 필터링 처리 하기 전의 색도 영상을 Fig. 2(b)에 그리고 필터링 처리한 후의 색도 영상을 Fig. 2(c)에 보였다. 그리고 평균 영상 처리는 일정 시간 간격으로 영상을 연속 처리하여 평균 HSI 값을 구하는 것으로 변동되는 화염의 거동을 대표하게 된다.

2.3 상관성 분석

화염 영상과 대기오염 배출가스와의 상관관계를 구하는 과정을 Fig. 3 에 나타 내었으며, 그 상관성을 갖는 변수를 찾아 내는 방법으로 식 (2)와 같은 이산신호 해석적인 상관관계 분석 방법을 이용하였다

$$\rho_{xy}(n) = \frac{\gamma_{xy}(n)}{\sqrt{\gamma_{xx}(0)\gamma_{yy}(0)}}, \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

$$\gamma_{xy}(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-n-1} x(k)y(k+n), \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (2)$$

$$r_{xx}(0) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} [x(k)]^2, \quad r_{yy}(0) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} [y(k)]^2$$

여기서  $\rho_{xy}$  는 상관계수이며  $0 \leq \rho_{xy} \leq 1$  이다.  $\rho_{xy}$  가 0 이면 두 신호가 전혀 관계가 없고,  $\rho_{xy}$  가 1 이면 두 신호가 동일함을 의미한다. 그리고  $\gamma_{xy}$  는 교차

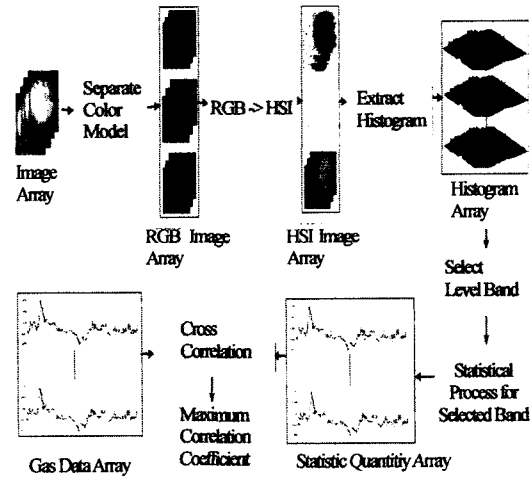


Fig. 3 Tracking flow of correlation between flame images and emissions.

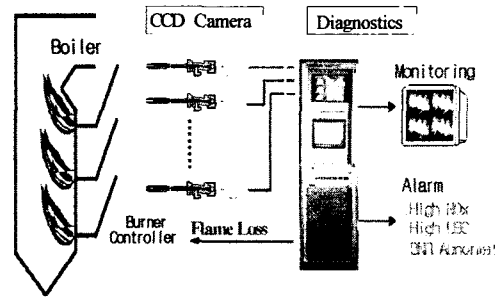


Fig. 4 Schematic diagram of flame monitoring system.

상관도,  $\gamma_{xx}$  와  $\gamma_{yy}$  는 자기상관도,  $x(k)$ 와  $y(k)$ 는 입력 신호,  $N$  은 신호의 크기이다. 그리고 화염 영상의 HSI 성분과 배출가스 성분 사이의 상관도는 Fig. 3 의 절차에 따라 도출하였다.

3. 화염감시 시스템 구성

화염 감시 시스템의 개략적인 구성은 Fig. 4 에 도시하였다. 시스템 하드웨어는 각 버너의 화염 영상을 획득하는 화염 수광부와 포착된 개별 화염 영상의 분석 및 진단 처리를 담당하는 감시 진단부로 나뉘어 진다.

화염 수광부는 고온 내시경, 공냉식 냉각관, CCD 카메라, 카메라 어댑터, 등으로 구성되고, 감시 진단부는 화염 감지부 (Flame detection unit),

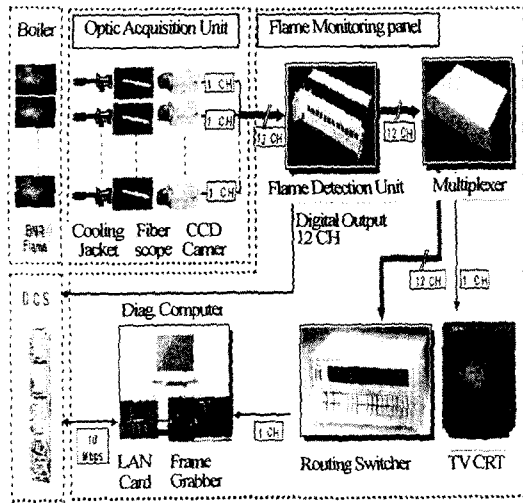


Fig. 5 Apparatus configuration and signal flow for flame monitoring and diagnostics.

멀티플렉서(Multiplexer), TV 모니터, 라우팅 스위치(Routing switcher), 컴퓨터, 프레임 그래버(Frame grabber) 등으로 구성되며 상세한 기기 구성 및 신호 흐름은 Fig. 5에 나타내었다.

고온 내시경은 사람의 눈과 카메라가 미치지 못하는 장소에 대한 유효한 관찰 수단으로 사용되며 석영계 화이버가 갖는 우수한 내환경 특성 즉, 내방사선성, 내열성, 내한성, 고강도성 등을 활용하여 가혹한 환경에서의 적용이 도모되고 있다. 대물 렌즈에 의해 투영된 관찰물의 영상이 화이버 내를 전파해 출사단에 재생된다. 이 영상을 집안 렌즈 또는 CCD 카메라의 촬상면에 투영해 화상 관찰 또는 계측을 행한다. 본 연구에서는 고온 화염 가스에 노출되어 있는 화이버 스코프를 보호하기 위해 공냉식 냉각관(Cooling jacket)을 제작하여 사용하였다.

화염 감지부는 각 버너별 카메라로부터 받은 화염 영상을 보드의 입력으로 하여 화염의 착화, 실화를 판단하는 아날로그 회로를 가지는 실시간 처리 보드로 12 개의 카메라 신호에 대해 연산을 수행하고 착화 여부를 출력하는데, 입력 증폭기를 통해서 입력된 영상 신호는 불평형 신호 피크 검출기에 의해서 반전. 비반전 신호로 분리되어 다음 단계 공급된다. 각 신호는 그라운드를 기준으로 각각 반파 정류하여 커패시턴스에 충전되는데, 방전 시정수는 RC 회로에 의해서 결정된다. DC 변환된 신호를 합산한 후 동기 신호 부분의 절대값 만큼 제거한 후에 비교 및 출력 블럭에서의 설정치와 비교하여 화염 착화 여부를 판정한다.

멀티플렉서는 다중 채널 접속기로 TV 모니터를 화면 분할하여 최대 16 개 버너 화염을 동시에 감시할 수 있도록 하며, 화면상의 특정 부분을 확대하여 볼 수도 있게 한다. 라우팅 스위치는 개별 버너 화염 영상을 순차적으로 연소 진단 컴퓨터에 입력시키는 기능을 수행한다. 화염 영상 수광부에 포착된 버너 화염 영상은 라우팅 스위치의 입력으로 들어오면 RS232C 통신을 통해서 선택된 채널의 버너 화염 영상을 프레임 그래버로 보낸다.

시스템 소프트웨어는 영상 처리 프로그램과 진단 결과 표시 프로그램으로 나뉘어 진다. 영상 처리 프로그램은 각 버너의 화염 영상을 포착하여 색 합성 처리를 통해 노내 질소산화물과 비연 탄소의 분포를 산출하고, 진단 결과 표시 프로그램은 그 결과를 실시간으로 모니터에 표시하며, 이상 연소의 조기 정보 기능 및 과거 경향도(Historical trending) 기능 등을 제공한다. 그리고 영상 처리 파라메타를 설정하며, 외부 기기와의 통신을 담당한다.

영상 처리 프로그램이 입력된 화염 영상을 분석하여 처리 결과를 공유 파일에 저장하면, 진단 결과 표시 프로그램은 이 공유 파일의 데이터를 모니터 화면에 표시해 주며, 영상 처리에서의 각 버너에 해당하는 필요한 화염 파라메타 값을 설정하여 옵션 파일로 저장한다.

옵션 파일은 영상 처리 프로그램이 각 채널에서 필요한 변수 값들로 반영하여 사용자가 설정하는 기준을 프로그램에 적용한다. DCS 서버 프로그램은 진단 결과 표시 프로그램에서 사용되는 데이터를 랜카드를 통해서 DDE 네트 통신 방식을 따라 DCS로 데이터를 보내는 역할을 한다.

#### 4. 연소 시험 및 실험 결과

##### 4.1 시험로 및 시험 조건

화염 영상 데이터와 대기오염 배출가스와의 상관관계를 도출하기 위해 화염 수광부를 Fig. 6의 소형(Bench) 시험로에 장착하였다. 소형 시험로는 연소로, 버너 및 연료 탱크, 냉각탑 및 순환수 공급장치 등으로 구성되어 있는데, 버너는 한국공업의 모델 FG-5 제품으로 최대 연료소비량 49 kg/hr의 오일버너이며, 최대 발열량 500,000 kcal/hr에서 화염의 길이 및 폭이 각각 150 cm 및 60 cm를 유지한다. 노내 직경은 110 cm, 길이는 200 cm로 설계하였으며 몸체는 5개 섹션으로 제작하였다.

각 섹션에는 화염 온도 및 배기 가스 측정용

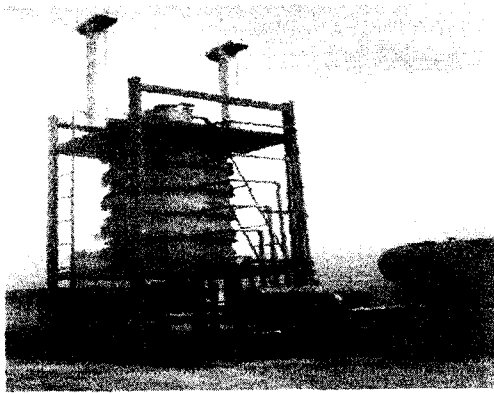


Fig. 6 Bench furnace overview.

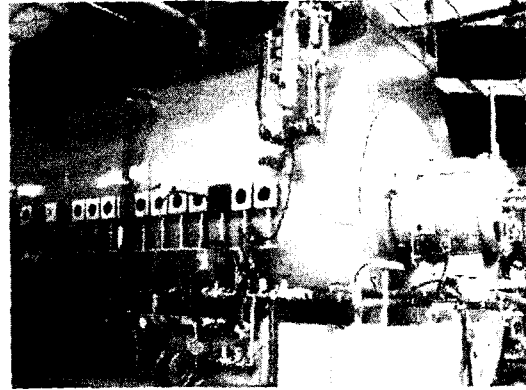


Fig. 7 Pilot furnace overview.

Table 2 Experimental condition in the bench furnace

Exit Gas Temp (°C)	Flame Temp (°C)	Exit Gas O <sub>2</sub> (%)	CO(ppm)
510 ~ 760	1150~1490	1.80~8.30	10~3070

프루브를 장착할 수 있는 감시창을 대칭으로 2 개씩 설치하고 가장 하단의 감시창에 화염 수광부를 설치하였다.

소형 시험로에서는 스택으로 방출되는 배기 가스의 온도를 일정하게 유지할 수 있는 자동 연소 방식을 채택함으로써 같은 조건에서 일정한 형태의 화염이 유지되도록 하는 안정된 화염 조건에서 연료 분사량과 공연비를 변화시키며 연소시험을 수행하였으며 그 실험조건 및 범위는 Table 2 에 요약하여 나타내었다.

배출가스의 온도가 설정된 온도의 2%내에 수렴하였을 때 정상상태로 판정하여 데이터를 획득하였으며 일정 시간 간격으로 화염 영상을 포착하고 동시에 질소산화물, 미연 탄소 등의 배기 가스 데이터 획득하였다. 질소산화물 분석기는 로즈마운트사의 모델 951A, CO 분석기는 서보맥스사의 1410B, O<sub>2</sub> 분석기는 서보맥스사의 1420B 를 사용하였으며, 미연 탄소 측정은 여과에 의한 중량법을 채택하였다.

연소실험 결과 분석을 통해 화염 상태 정량화의 가능성을 확인하고 상관관계를 도출하였으며, 이를 확인하기 위해 Fig. 7 의 2.5M 급 실험 연소로인 노동식 파일럿 시험로에서 연소 시험을 계속하였다. 파로는 원통형으로 그 반경은 2m, 길이는 6.5m 이며 외측은 수냉을 위한 수관벽으로 되어 있으며, 사용된 버너는 400 kg/hr 용량의 Gun type 버너이다.

Table 3 Experimental condition in the pilot furnace

Oil Pressure (kgf/cm <sup>2</sup> )	Flame Temp (°C)	Exit Gas O <sub>2</sub> (%)	CO(ppm)
7.5 ~ 13.2	1118~1360	2.30~5.40	10~1800

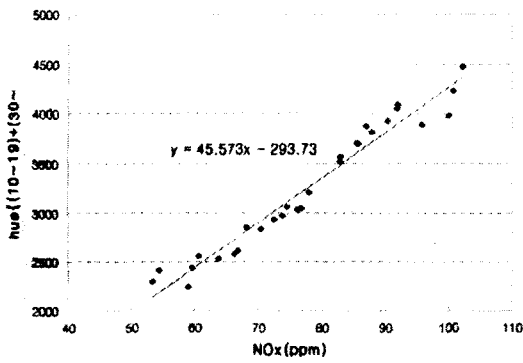
파일럿 시험로에서 안정한 화염이 일정하게 유지되도록 하기 위해 배가스 재순환 Fan 은 작동하지 않고 연소공기 및 오일의 온도, 선화 배인 각도 등을 고정시키고 화염을 안정화시킨 다음, 연료 분사량은 240 liter/hr 에서 380 liter/hr 까지, 과잉공기비는 2.3%에서 5.4%까지 변화시키며 배기 가스를 모니터링하고 영상을 취득하였다. 그 실험조건 및 범위는 Table 3 에 요약하여 나타내었다.

4.2 실험 결과 및 실시간 처리

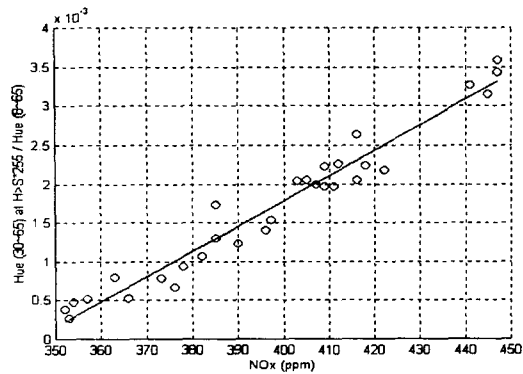
연소 시험 과정을 통해 나타나는 문제점은 공연비, 연료 분사량, 선화(Swirl) 수, 재순환 가스량 등의 같은 조건에서도 연료 압력 변동 및 배기 가스 측정 오차가 심하게 나타난다는 점이다. 이에 대한 개선은 측정값의 신뢰도가 보장될 수 있는 영역에서 반복적인 측정을 통해 해결하였다. 이렇게 측정된 데이터를 이용하여 Fig. 3 에 도시된 과정을 반복함으로써 가장 근접한 상관관계를 도출하게 된다.

소형시험로와 파일럿 시험로에서 배기가스 측정 및 영상 처리 프로그램을 구동한 결과, Fig. 8(a)와 8(b)에 화염 영상의 색도 데이터와 질소산화물(4% O<sub>2</sub> 보정치)과의 상관관계를 각각 나타내었다. 그리고 Fig. 9(a)와 9(b)에 색도 데이터와 미연 탄소와의 상관관계를 보였다.

소형시험로에서는 Fig. 8(a)와 같은 질소산화물과 색도 성분의 관계에 따라 색도 레벨이 10 에서 19 까지의 값을 갖는 화소의 갯수와 30 이상의 값을



(a) Bench furnace



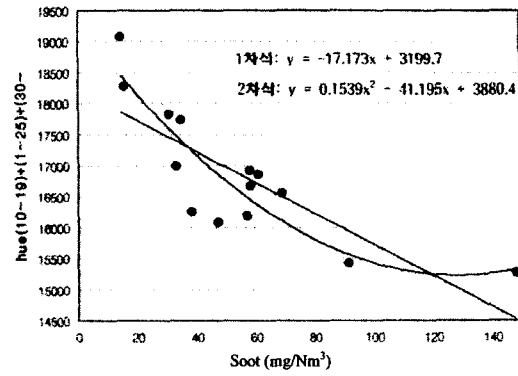
(b) Pilot furnace

Fig. 8 Correlations between NOx and Hue level.

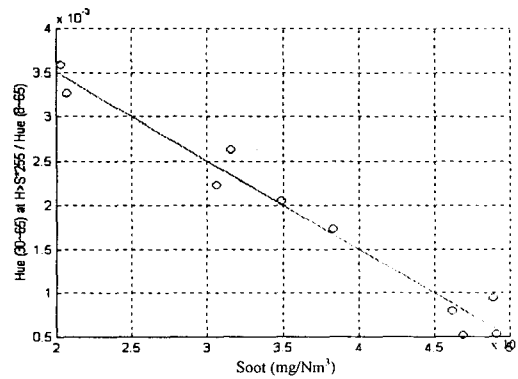
갖는 화소의 갯수를 함산함으로서 질소산화물 값이 산출되고, 파일럿 시험로에서는 Fig. 8(b)와 같이 질소산화물과 색도 성분의 관계에 따라 색도 레벨이 30 에서 65 까지의 값을 갖는 화소의 갯수로 질소산화물 값이 산출됨을 보여 준다.

위 결과와 같이 버너 타입이나 연소로 구조가 다르게 되면 다른 색도 레벨과의 상관관계를 갖게 되지만, 대부분의 산업 플랜트에서는 한 개의 연소로내에서 수십기의 같은 버너들이 나란히 또는 마주보며 층층이 설치 되어 있기 때문에 다수 개의 상관관계를 구하지 않고 하나의 상관관계만으로 즉 별도의 튜닝 작업이 없이 버너들간의 연소 상태 비교 및 이상 버너의 판별 등의 연소 관리가 가능하게 된다. 그리고 Fig. 8(a)와 8(b)에서 보는 바와 같이 질소산화물과의 상관관계가 50 ppm 부터 110 ppm 까지, 그리고 350ppm 에서 450 ppm 까지 넓은 범위에 걸쳐 나타나므로 일반 산업용 연소기에 광범위하게 응용될 수 있다.

미연 탄소성분의 경우도 이와 마찬가지로 적용될 수 있다.



(a) Bench furnace



(b) Pilot furnace

Fig. 9 Correlations between unburned carbon and Hue level.

Fig. 9(a)와 같이 소형시험로에서는 색도 레벨이 10 에서 19 까지 갖는 화소의 갯수와 1 에서 25 까지 갖는 화소의 갯수와 30 이상의 색도 레벨을 가지는 화소의 갯수를 함산되어 미연 탄소 값이 산출됨을 보여 주며, 파일럿 시험로에서는 Fig. 9(b)와 같이 색도 성분의 관계에 따라 색도 레벨이 30 에서 65 까지의 값을 갖는 화소의 갯수로 미연 탄소 값이 산출됨을 보여 준다.

대부분의 산업 플랜트에 적용하여 하나의 상관관계만으로 버너들간의 연소상태 비교 및 이상 버너의 판별 등의 연소 관리가 가능하고 Fig. 9(a)와 9(b)에서 보는 바와 같이 미연 탄소와의 상관관계가 20 mg/Nm<sup>3</sup> 부터 150 mg/Nm<sup>3</sup> 까지 넓은 범위에 걸쳐 나타나므로 일반 산업용으로 광범위하게 적용될 수 있다.

이 값들을 실시간으로 처리하기 위해 영상 처리 장치에서는 최종 영상의 크기를 80×60 픽셀로 처리하였으며, 이때 감시 처리시간 (Scan time)은 버너 화염이 수광부에 입력되어 영상처리

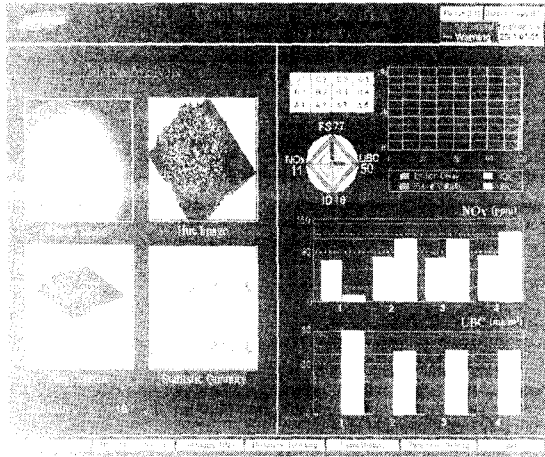


Fig. 10 Monitoring screen of individual burner.

후 컴퓨터 화면에 연소 상태를 표시하는데 걸리는 시간으로, 1 개 채널에서 바인딩 (일정 시간 간격으로 영상을 연속 처리하여 평균값을 사용하는 것)을 10 회 할 때 총 840 msec 가 소요되므로, 12 개 채널의 감시 처리시간 은 평균 10.1 초가 되어 실시간으로 화염 감시가 가능함을 확인하였다.

그리고 진단 결과 표시 프로그램은 총 7 개의 화면으로 구성되며, 마우스와 키보드를 이용해서 제일 하단의 버튼을 선택하면 원하는 화면을 볼 수 있다. Fig. 10 은 개별 버너의 연소상태를 보여주는 화면이다. 연소 지표로는 질소산화물, 미연 탄소 값을 사용하여 우측상단에 마름모꼴로 표시하고 2 분 동안의 실시간 경향을 보여주며 그 값을 우측하단에 막대 그래프로 보여준다. 좌측 화면은 화염 안정도 (회도 값을 사용함)에 관한 지표 환산시의 연산 과정을 보여준다. 다른 버너의 상태를 보고 싶으면 중앙 상단 부분의 버너 선택 버튼을 마우스로 선택한다.

파일럿 시험로 운전중에 실제로 측정된 질소산화물 및 미연 탄소농도값과 감시 화면에 나타난 농도값과 평균오차는 질소산화물은 대략 7.5 %, 미연 탄소 경우는 9.5 %로 나타났는데, 이것은 표본 추출 과정 그리고 측정기 자체 및 그의 측정상의 오차 들을 포함한 값이며, 정상 상태의 연소중에도 NOx 와 미연 탄소 농도값의 흔들림이 5% 가량 되므로 감시화면에 나타난 값은 충분한 신뢰도를 갖는 것으로 보여지며, 연소 상태의 변동성향 및 추이를 감시하면서 개별 버너 및 버너간의 연소상태 비교 및 이상 버너의 판별 등의 연소관리가 충분히 가능한 것으로 판단된다.

그리고 Fig. 11은 전체 버너에 대한 질소산화물 및 미연 탄소 감시화면이다. 화면의 좌측은 각 버

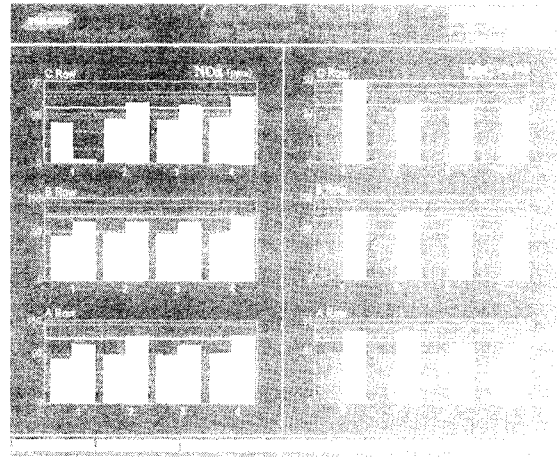


Fig. 11 NOx and unburned carbon monitoring.

너의 질소산화물 값을 나타내고 우측은 미연 탄소 값을 보여준다. 각 버너의 막대 그래프는 경고 설정 값보다 측정값이 커지면 노란색으로 바뀌어 정보를 하고, 이상 표시 설정 값보다 커지면 적색으로 바뀌어 표시된다. 그리고 과거 경향도 화면에서는 경향 그래프 구간 지정과 보고자 하는 시간 설정을 통해 개별 버너의 연소 지표의 변동 이력을 분석할 수 있으며, 경고 이력 화면에서는 이상연소 발생 내역을 볼 수 있고, 주 화면에서는 안전 운전 및 최적 연소 상태 유지를 위한 정보를 실시간으로 확인할 수 있게 하였다.

### 5. 결론

자체 제작한 화염 수광부와 영상 처리 장치를 시험로에 설치하고 연소 실험을 수행한 결과, HSI 모델을 이용하여 실험적 방법으로 제시된 필터링 처리 및 영상 처리 방법으로 화염 상태의 정량화가 가능하며, 이산신호 해석적인 상관관계 분석 방법으로 특정 대역의 색도 성분과 질소산화물 및 미연 탄소와의 상관성을 확인하였다.

기존의 연돌 감시방식과 운전자의 경험에 의존하는 전통적인 연소 관리 기술 대신에 상관성 도출 방법을 이용하여 노내 연소 상태를 실시간으로 감시하며, 에너지 효율 증대 및 대기 오염물 배출 극소화를 동시에 실현할 수 있는 화염 감시 시스템의 구현이 가능함을 보였다.

본 연구 결과는 각종 보일러에 확대 적용하여 질소산화물과 미연 탄소를 동시에 저감시키며 최적 연소 상태를 유지시키는 데 유용하게 활용될 수 있을 것이다. 또한 운전의 안전성 확보로 불필

요한 부하 사용 배제 및 전력 낭비 절감이 가능하며, 부하 변동이나 연료 절환시 버너 조정 시간 단축 및 유지 보수 비용 절감에도 크게 기여할 것으로 기대된다.

### 참고문헌

- (1) Griffiths, J. F. and Barnard, J. A., 1995, "Flame and Combustion," *Blackie Academic & Professional Glasgow*, pp. 108~112, 141~142.
- (2) Jir-Ming Char and June -Hsien Yeh, 1993, "The Study on Propane Fflame Temperature Measurement with linfrared Technique," *Experimental heat transfer, fluid mechanics and thermodynamics*, pp. 1122~1129.
- (3) Kawamura, K., Saito, A., Yaegashi, T. and Iwashita, Y., 1989. "Measurement of Flame Temperature Distribution in engine by using a Two Color High Speed Shutter TV Camera System," *SAE Technical Paper Series*, 890320.
- (4) Hosino, M., Misno, K., Toma, T., Sato, Y., Tsujitake, M. and Yamanaka, Y., 1991, "Combustion Monitoring System applied Image Data Processing," *Thermal & Nuclear Power Generaton*, Vol. 42, No. 12, pp. 1725~1733.
- (5) Hanson, R K., 1986, "Combustion Diagnostics: Planar Imaging Techniques," *Twenty First Symposium on Combustion*, pp. 1677~1691.
- (6) Tamaogi. K., Matuda, H., Kotani. T., Miyamae. S., Hashimoto, H. and Makino, K., 1992. "Development of Support System evaluating Pulverized Coal Combustion on #2 Unit of Saijoh Power Station." *Thermal & Nuclear Power Generaton*, Vol. 43. p.71.
- (7) John A. Dean, 1960, *Flame Photometry*. New York. McGraw-Hill.
- (8) Lee, T. W., Lee, S. B., Ha, J. Y., 1996. "A Study on a Technique of the Measurement of Flame Temperature and Soot Using the Two-Color Method in Diesel Engines." *Transactions of. KSME B*, Vol. 20, NO. 9, pp. 3007~3014.
- (9) Louis, J. and Galbiati, J., 1990, *Machine Vision and Digital Image Pprocessing Fundamentals*. Prentice-Hall. International.
- (10) Ditchbrun, R.W., 1991, *Light*, New York Publication.