

# PIV/OH PLIF 동시측정을 이용한 난류 예혼합 화염 연구

조용진<sup>†</sup> · 김지호<sup>\*</sup> · 조태영<sup>\*</sup> · 윤영빈<sup>\*\*</sup>

## Research on Turbulent Premixed Flame with Simultaneous PIV/OH PLIF measurements

Yong-jin Cho · Ji-ho Kim · Tae-young Cho · Young-bin Yoon

### Abstract

Turbulent premixed flames were a subject of many researches for a number of decades. Especially, Borghi suggested a magnificent diagram classifying turbulent combustion reasons and Lipatnikov and Chomiak modified this diagram. But this diagram has difficulties in defining a flame thickness and velocity and measuring integral length scales. In addition, recently experimental techniques are being developed, so we can accurately use PIV diagnostics measuring 2D velocity field instead of LDV and make good use of PLIF techniques for obtaining the flame information. In this study, according to developing techniques, suggest a new diagram replacing the existing Borghi diagram. Simultaneous PIV/OH PLIF measurements are used, which measure a shear strain rate and a location of flames, respectively. The shear strain rate represents turbulence and the OH signal indicates the flame information, but there is no geometric information which is very important to flame quenching. Hence, to consider the geometric information, calculate fractal dimensions of the OH images. So the diagram suggested in this research has three axes which consist of strain rate, OH signal, and fractal dimension and can classify turbulent premixed flames.

**Key Words :** Turbulent premixed flame(난류 예혼합화염), Simultaneous measurements(동시측정)

### 기호설명

$\delta_L$  : 층류화염 두께  $S_L$  : 층류화염 속도  
 $\delta$  : 전단 변형률  $\sigma$  : OH 신호  $D_f$  : 프랙탈 차원

### 1. 서론

현재까지 난류화염 구조에 대한 많은 연구가 있어 왔다. 하지만, 그 구조를 정확히 밝혀내지 못

하고 있다. 이에 Borghi는 난류화염의 영역을 구분하는 Borghi 선도<sup>1)</sup>를 제시하였으며 이 선도를 많이 이용해 왔다. 최근에는 Lipatnikov 등<sup>2)</sup>이 현재까지의 난류화염 구조에 대한 연구결과를 토대로 향상된 Borghi 선도를 제시 하였다. 이호근 [3]은 대향분출 화염에서의 화염 영역을 Borghi 선도 상에서 구분하였다. 하지만, 실제로 실험적으로 난류화염영역을 구분하기 위해서는 이호근<sup>3)</sup>의 경우처럼 적분길이 스케일(integral length scale:L)을 점 측정방식인 LDV 등으로 구해야하며, 측정과정에서 Taylor 가정 등을 도입해야한다. 또한, 층류화염 두께( $\delta_L$ )나 층류화염 속도( $S_L$ ) 등을 이룬 치로 가정하거나 다른 방법을 이용하

<sup>†</sup> 서울대학교 대학원 기계항공공학부

E-mail : chaos94@snu.ac.kr

<sup>\*</sup> 서울대학교 대학원 기계항공공학부

<sup>\*\*</sup> 서울대학교 기계항공 공학부

는데, 이러한 값들을 정의하는데 있어 많은 논란이 있어왔다. 더구나 최근에는 점 측정 방식인 LDV 보다는 2차원 속도장을 측정할 수 있는 PIV의 사용이 증가하고 있고, 화학 반응 영역을 잘 표시해주는 LIF 기법등이 발달하여, 이러한 기법들을 사용하는 추세이다. 따라서, 본 연구에서는 새로운 측정방식에 맞는 선도를 제시하고, 기존의 Borghi 선도를 대체 할 수 있는지를 검토하고자 한다.

## 2. 실험 장치 및 방법

### 2.1 실험 장치 및 조건

지금까지 난류 예혼합화염에 대한 연구시 대향 분출 화염이 많이 사용되어 왔다<sup>4)</sup>. 본 연구에서도 Fig. 1과 같이 대향 분출염을 사용하였다. 이 연소기의 특징은 먼저 연소실에 예혼합 가스를 채운 후 아래위의 부연소실(Pre-chamber)에서 동시에 점화를 시키면 강한 유동장이 형성되면서 주 연소실내로 분출된다. 분출 되는 과정에서 수십 ms 동안 점화 지연이 발생하며, 점화 지연이 발생하는 동안 주 연소실내에서 기연가스와 미연가스의 혼합이 이루어지고, 재 점화시에 난류연소가 발생하게 된다.

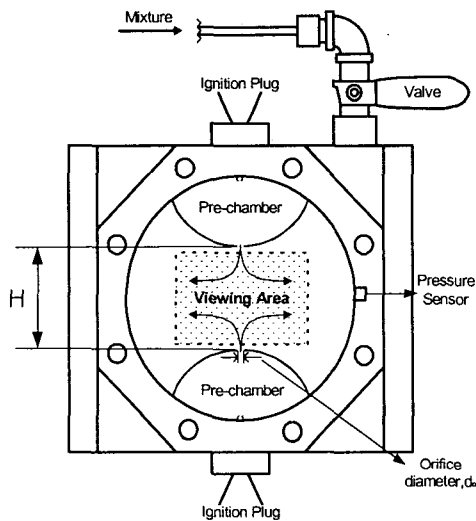


Fig. 1 Opposed impinging jet combustor

실험시 유동 특성을 조절하기 위해 오리피스 직경(orifice diameter),  $d_o$  를 변화 시켰다. Bray 등[5]에 따르면 대향 분출화염에서 오리피스 간의 거리, H 는 난류강도에 큰 영향을 주는 요소

이므로 이를 35mm 로 고정하였다. 부 연소실의 부피는 이호근<sup>3)</sup>의 실험 결과에 따라 14.8%로 고정 하였다. 화학 반응물의 특성을 변화시키기 위해 당량비,  $\Phi$ 를 변화 시켰으며, 연료는 프로판 공기 혼합 가스(propane-air mixture)를 사용하였다. 자세한 실험 조건은 Table 1과 같다.

Table 1 Experimental conditions

Orifice size, $d_o$ (mm)	Equivalence ratio, $\Phi$	Fuel	Initial pressure
3, 4, 5	0.85, 0.95	propane-air mixture	1 atm

### 2.2 실험 방법

실험 방법으로는 속도장을 측정하는 PIV와 화학반응의 특성을 나타내는 OH PLIF을 Fig. 2와 같은 시스템을 구성고, 동시에 측정 하여 유동의 특성과 화학반응이 어떠한 관계를 가지고 있는지를 살펴보았다.

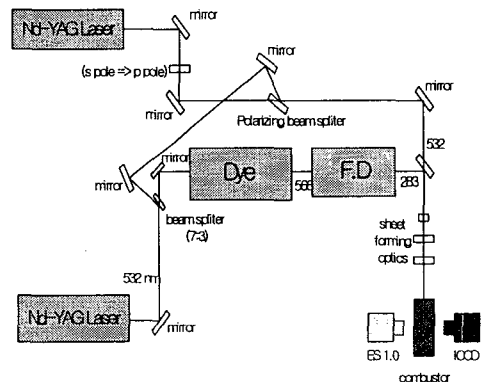


Fig. 2 Schematic of the simultaneous PIV/OH PLIF measurements

PIV 측정을 위해서 1008×1018 해상도의 ES1.0 correlation 카메라를 사용하였고, OH PLIF 측정을 위해서는 640×480의 ICCD 카메라를 사용하였다.

## 3. 실험 결과

### 3.1 전단 변형률과 화염의 위치

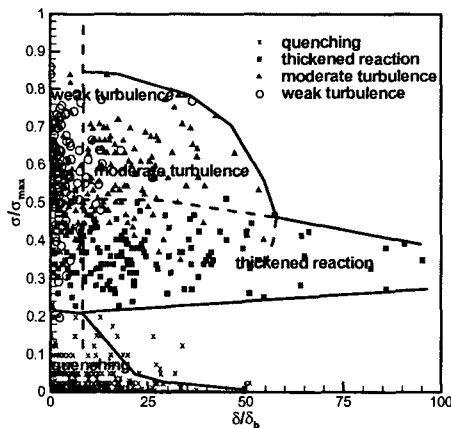


Fig. 3 Schematic of the turbulent reaction zone

유동과 화학반응은 서로의 상호 작용하에 화학 반응이 촉진될 수도 있고, 경우에 따라서는 반응이 억제되어 소멸에 이르게 된다. 이러한 난류연소의 특징으로부터 난류의 특성을 대표하는 전단 변형률과 화학반응의 특성을 대표하는 OH 신호가 어떠한 관계가 있는지를 살펴보기 위해 Fig. 3과 같은 선도를 그려보았다. 세로축의  $\sigma$ 와  $\sigma_{max}$ 는 각 경우에 있어서 OH 신호와 신호의 최대값이며, 가로축의  $\delta$ 는 전단변형률을,  $\delta_b$ 는 Bray등<sup>5)</sup>에 의해 정의된 bulk strain rate으로 여기서는 1000/s의 값을 가진다

### 3.2 프랙탈 차원

화염의 기하학적 구조를 구하기 위해 Mandelbrot의 Box-Counting Dimension<sup>6)</sup>을 이용하였다.

## 4. 결론

1) 난류연소는 화학반응이나 유동특성중 하나의 특성으로는 설명할 수 없으며, 두가지 요소를 모두 고려해야한다.

2) 난류의 특성을 전단변형률( $\delta$ )로, 화학반응의 특성을 OH 신호( $\sigma$ )로 대체하고, 여기에 화염의 기하학적 구조를 고려하기 위해 프랙탈 차원( $D_f$ )을 추가하여, 계측 방법의 근래 동향에 알맞으면서 Borghi 선도를 대체 할 수 있는 Fig. 12와 같은 새로운 선도(diagram)을 제시하였다.

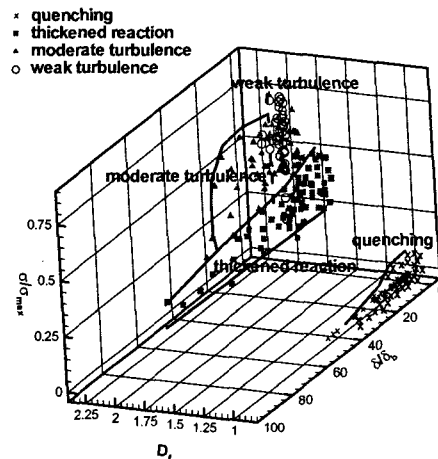


Fig. 4 Diagram suggested for replacing Borghi diagram.

## 참고 문헌

- 1) Borghi R. Prog Energy Combust Sci Vol. 14, 1988, p.245.
- 2) A.N. Lipatnikov and J. Chomiak, 2002, "Turbulent flame speed and thickness", Prog. Energy Combust Sci, pp.1-74.
- 3) Lee, H. G., 1997, An Experimental Study on Reduction of NOx Production by the Opposed Impinging Jet Flame, Ph. D. Thesis, Seoul National University.
- 4) L.W. Kostiuk, K.N.C. Bray, and R.K. Cheng, 1993, "Experimental Study of Premixed Turbulent Combustion in Opposed Streams. Part II", Combust. Flame Vol. 92 pp.396-409.
- 5) K.N.C. Bray, M. Champion, and Paul A. Libby, 1996, "Extinction of Premixed Flames in Turbulent Counterflowing Streams with Unequal Enthalpies", Combust. Flame Vol. 107 pp.53-64.
- 6) H. O. Peitgen, H. Jurgens, and D. Saupe, 1992, "Fractal for the Classroom", Vol. 1, Springer-Verlag New York, Inc.