

High speed LIF기법을 활용한 화염 가시화

안명근* · 김태성* · 윤지수* · 정찬영* · 윤영빈*†

Flame Visualization by Using High Speed Laser Induced Fluorescence Technique

Myeonggeun Ahn*, Taesung Kim*, Jisu Yoon*, Chanyeong Jeong*, Yongbin Yoon*†

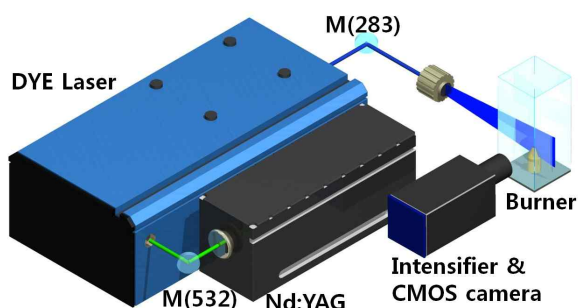


Fig. 1. High speed Nd:YAG laser system

연소장치의 안정적인 운용을 위해서 연소불안정현상에 대한 이해를 통한 화염안정성 확보가 가장 중요하다. 연소불안정 연구는 연소불안정 예측과 제어로 구분할 수 있는데 연소불안정 예측을 위해 연소불안정을 일으키는 요인을 중점적으로 지켜볼 필요가 있다. 이러한 요인들은 음향학적 섭동, 연료 및 공기의 섭동, 열방출량 섭동 등의 상호작용이다.[1] 높은 반복율의 레이저 계측기법을 통하여 이러한 인자들이 불안정 현상에 미치는 영향을 이해할 수 있다. C.F.Kaminski 등[2]은 난류 비예혼합 CH_4 -공기 화염을 높은 반복율을 가진 레이저와 PLIF(Planar laser induced fluorescence)기법을 활용하여 난류유동현상에서 유동 안의 불텍스형성과 기포생성을 가시화하였다. Isaac Boxx 등[3]은 희박 예혼합 모델가스터빈 연소기에서 CH_4 -공기 연료를 사용하여 예혼합화염과 스윙화염의 안정화 동특성을 고속레이저로 계측하였다.

* 서울대학교 기계항공공학부

† 연락처, ybyoon@snu.ac.kr

TEL : (02) 880-1904 FAX : (02) 872-8032

본 연구에서는 연소불안정 원인분석을 위한 기

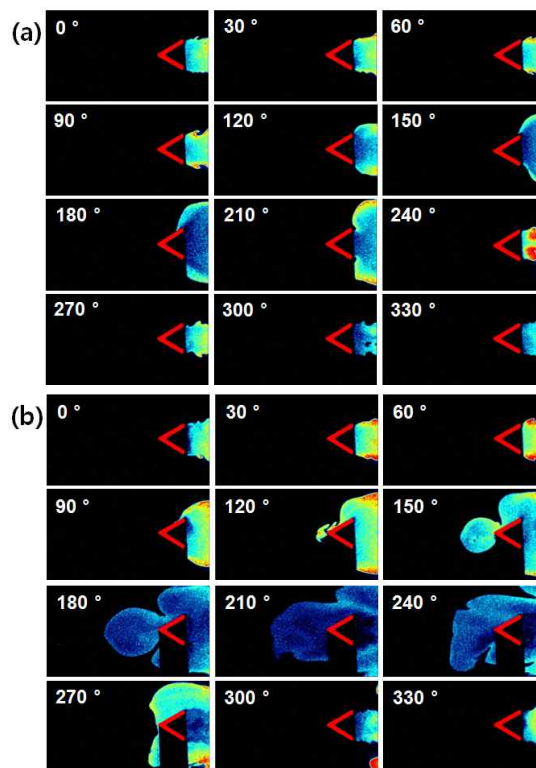


Fig. 2. One cycle of flashback process
a) weak flashback, b) strong flashback

초연구로 최대 10kHz의 반복율을 가진 Nd:YAG 레이저와 Dye 레이저를 활용하여 예혼합화염, 부분 예혼합화염, 확산화염의 다양한 연소기 형태에 따른 연소 화염면 변화를 계측하였다.

Nd:YAG 레이저와 파장변환을 위한 Dye 레이저는 Edgewave사의 IS-200-2-L과 Sirah사의 credo-Dye-LG-24를 사용하였고 여기된 OH 라디칼 계측을 위하여 고속 카메라와 증폭을 위한 intensifier는 HighspeedStar 8과 Highspeed IRO

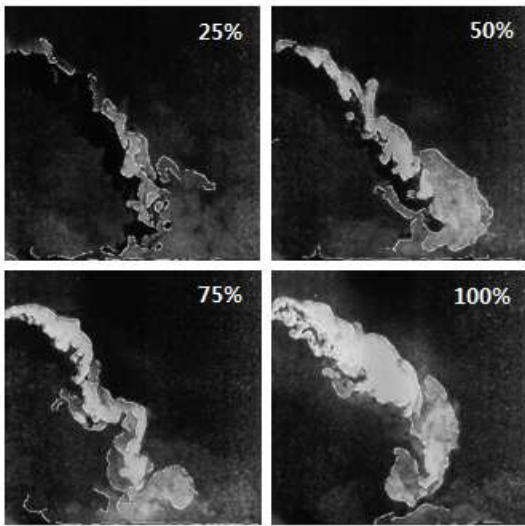


Fig. 3. The average flame surface with H_2 composition change

를 사용하였다.

사용된 렌즈는 UV 렌즈($f=100\text{mm}$; $f/2.8$)이고, 필터는 OH LIF(Laser induced fluorescence)용 필터를 사용하였다. 1024×1024 의 해상도로 설정 초당 7000장의 이미지로 화염면 계측사진을 획득하였다.

Fig. 1은 ND:YAG 레이저 시스템을 3D 모델링한 사진이다. Nd:YAG 레이저에서 유도 방출된 532nm 녹색파장이 LIF기법에 적합한 파장인 283nm 남청색파장으로 변조시키기 위하여 Dye 레이저에 통과시킨다. 변조된 283nm 레이저는 화염면 계측을 위해 원통형 모양의 레이저빔을 평면으로 변환시키는 장치에 투과시킨 후 원하는 화염의 면을 계측한다.

예혼합화염 계측 실험은 V 거터형 보염기가 장착된 단면적이 $40 \times 40 \text{mm}^2$ 으로 일정한 길이 방향 덕트 형상에서 발생하는 역화 메커니즘 분석 실험을 수행하였다. 실험은 당량비 0.8, 유량 15g/s 의 조건에서 수행하였다. Fig. 2(a)는 예혼합화염의 약한 역화현상을 한 사이클에 대해서 30° 간격으로 한 주기 동안의 화염 모습을 나타낸 사진이다. Fig. 2(b)는 예혼합화염의 강한 역화현상을 한 사이클에 대해서 30° 간격으로 계측한 사진이다. 약한 역화가 발생하였을 때에는 화염면이 넓게 형성이 되나 상류로 화염이 전파되지는 못하였고 강한 역화현상에서는 화염이 상류로 전파되는 것을 관찰할 수 있다.

부분 예혼합화염 계측 실험은 화염 가시화를 위하여 200mm 석영유리관을 장착한 $1/3$ 스케일로

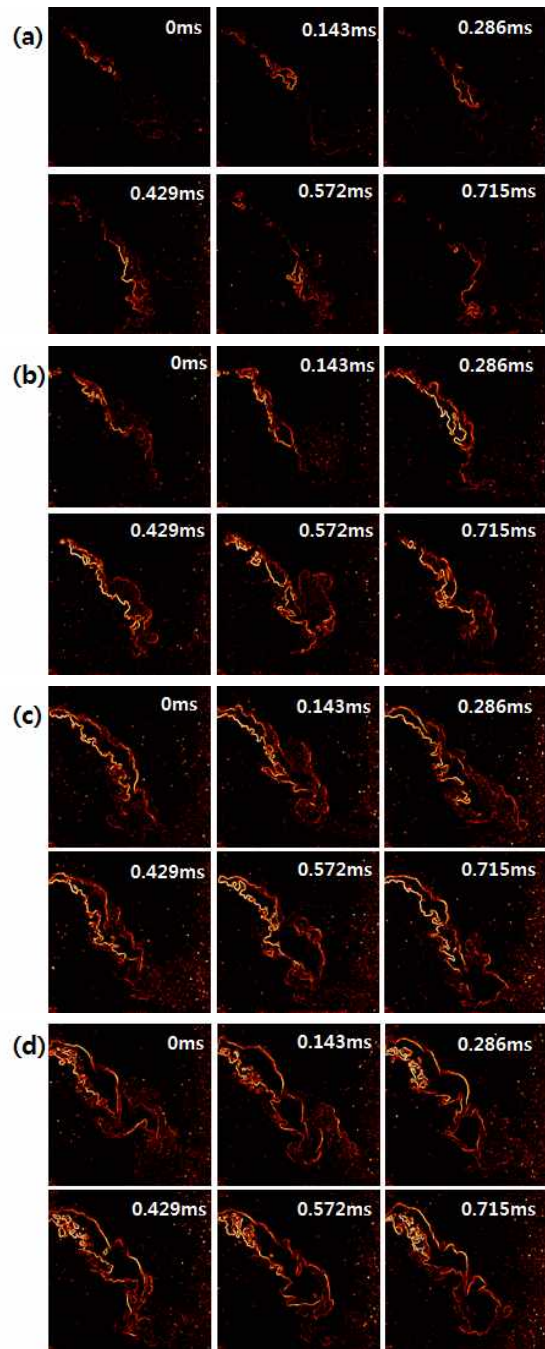


Fig. 4. The gradient flame surface with H_2 composition change (a) $H_2=25\%$ (b) $H_2=50\%$ (c) $H_2=75\%$ (d) $H_2=100\%$

축소된 GE7EA 연소기에서 H_2/CH_4 조성 변화에 따른 연소불안정 특성변화에 대하여 상압연소 실험을 하였다. 연료의 조성은 H_2/CH_4 를 25/75% 50/50% 75/25% 100/0%의 비율로 증가시켜 실험을 수행하였다. Fig. 3에서 H_2 의 비율이 높아질수록 OH의 세기도 같이 증가함을 관찰할 수

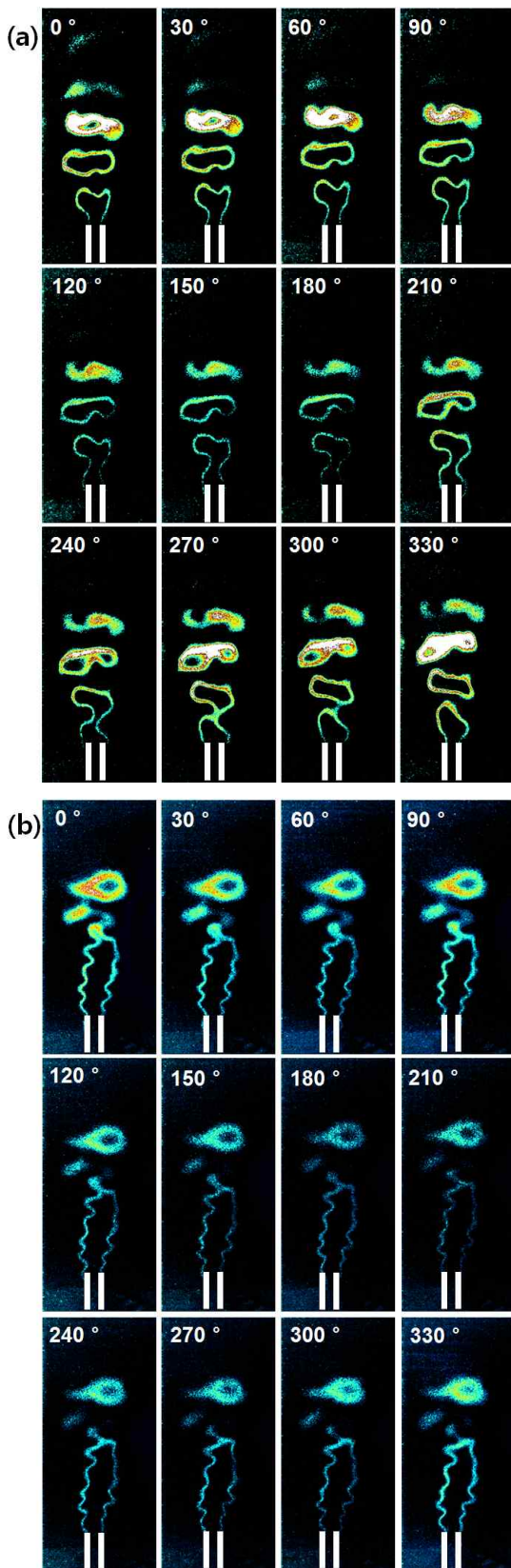


Fig. 5. The flame surface with specific frequency (a)100Hz (b)200Hz

있다. Fig. 4는 연료의 H₂ 비율을 25%씩 100%

까지 증가시키면서 계측하였고 그라디언트 계산을 통하여 연료조성변화에 따른 화염면의 위치 변화를 확인하였다.

확산화염 계측실험은 연료 노즐 직경 5mm, 동축 공기 직경 50mm인 제트 확산화염 연소기에서 수행하였다. 화염 변화 증폭을 위하여 스피커를 사용하여 공기와 연료공급라인을 가진 하였으며 동시에 H₂/CH₄조성의 변화를 주어 화염면을 계측하였다. Fig. 5(a)는 연료의 비를 50/50%로 공급하며 100Hz의 외부가진을 가하였을 때 계측한 사진이다. 가진 시 화염이 연속적으로 이어지지 않고 고리모양으로 형성되며 부상하고 화염의 중심에서는 약한 역화가 발생하여 화염이 연료 노즐 쪽으로 빨려 들어가는 것을 관찰할 수 있다. Fig. 5(b)의 실험조건은 위와 동일하고 200 Hz의 외부가진 시 화염면의 변화를 계측한 사진이다. 화염은 100 Hz의 화염면과 다르게 절단되어 발생하지 않고 좌우 대칭으로 발생하며 연료가 노즐 쪽으로 빨려 들어가는 역화 현상 또한 보이지 않는다.

본 연구는 초고속 레이저를 사용한 LIF 기법으로 다양한 연소기에 대한 화염의 거동을 계측하였으며 초당 7000장의 이미지획득을 통하여 와류 형태, 화염면의 절단 과정, 화염의 부분적 역화 등을 파악할 수 있었다. 향후 연구를 통하여 각 장치에 대한 화염거동특성 발생 원인에 대한 파악을 수행할 계획이다

후 기

본 논문은 미래창조과학부 한국연구재단의 핵심연구지원사업(No. 2015R1A2A2A010043)과 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구(201195101001C)결과이며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] Turns, S. R., 2000 "An introduction to combustion", Mcgraw-Hill, New York, pp. 107-201
- [2] C. F. Kaminski, J. Hult, M. Alden "High repetition rate planar laser induced fluorescence of OH in a turbulent non-premixed flame" Appl. Phys. B 68, 1999, pp 757-760
- [3] I. Boxx, W. Meier "High-speed laser diagnostics for the study of flame dynamics in a lean premixed gas turbine model combustor", Experiments in Fluids, Vol 52, 2012, pp 555-567