

충류 자유제트유동에 인가된 교류전기장의 영향

김경택* · 이원준* · 차민석**† · 박정* · 정석호** · 권오봉***

김민국**** · 이상민**** · 윤진한**** · 김상인****

Effect of AC electric fields on Free Jet Flow in a Laminar

Gyeong Taek Kim*, Won June Lee*, Min Suk Cha**, Jeong Park*, Suk Ho Chung**,
Oh Boong Kwon***, Min Kuk Kim****, Sang Min Lee****, Jin Han Yun****, Sang In Keel****

ABSTRACT

The experimental study on gaseous laminar free-jet flow was investigated by applying high voltage alternating current (AC) to the nozzle. The jet flows were affected significantly by AC electric fields particularly at high voltages for applied frequencies less than 80 Hz, while those were not responded to further increased frequencies. Under certain AC conditions of applied voltage and frequency, the laminar gaseous fuel stem was broken down at an axial distance and subsequently separated into some parts. The velocity fields in jet flows interacting with applied electric fields were compared with those without having electric field. Interaction of applying electric fields with laminar free jet flow was discussed in detail, and the possible mechanism was also explained.

Key Words : Laminar, Flow instability, Electric field, Cold electron emission, Electrostatic.

전기장 및 플라즈마를 이용한 연소는 충류 부상화염의 전파 속도 증가, 화염의 안정화 및 연소 배출물 감소 등에 대해 지금까지도 광범위하게 연구되어지고 있다 [1, 2, 3]. Electric discharge를 이용한 제트 화염의 안정화에 있어도 다양한 시도와 연구가 이루어져 왔다 [4]. 특히 산업용 버너 설계에 있어 제트 화염의 안정화는 매우 중요한 문제라고 할 수 있다.

전기장을 화염 내에 인가하면 ion diffusion flux 및 화학 반응율을 급격히 증가시켜 화염 안정화에 기여한다는 것이 알려져 있다. 또한 가속된 전자와 중성 입자가 충돌하여 운동량이 전달하게 되어, 그 결과 중성 입자는 bulk flow가 형성되어 화염에 영향을 미치게 된다.

그러나 전기장이 화염에 어떤 영향을 주는지에 대한 많은 연구들이 이루어져 왔지만, 전기장의 영향을 규명하기 위해서는 더 많은 실험과 연구가 진행되어야 한다. 또한, 전기장이 화염에만 영향을 주는 것이 아니라 유동의 변화를 가져올 수 있다.

따라서 본 연구에서는 충류 자유제트 부상화염

에 전기장의 영향을 규명하기 보다는 충류 자유제트 유동의 변화에 초점을 두고 있다.

본 연구에서 사용한 실험 장치는 노즐, 오실로스코프(Oscilloscope), 증폭기(Amplifier), 유량조절부, 함수 발생기(Function generator), 유동을 가시화 하기 위한 Paraffin, VD_IVA DPSS LASER DRIVER으로 구성되어 있다. 노즐 내경은 4.5mm, 길이는 노즐출구에서 완전 발달된 유동을 얻기 위해 충분한 500mm로 설정하였다.

전기장 인가를 위해 함수 발생기를 이용하여 주파수와 인가전압을 조절하고 증폭기를 통해 RMS 값으로 7 kV까지 증폭하였으며, 주파수와 전압을 확인하기 위해서 오실로스코프를 사용하였다. 증폭기의 고전압부를 연료노즐에 연결하고, 위에 있는 전극에 접지하여 하였다. 전기장이 인가된 기체의 유동을 관찰하기 위해 Mie Scattering Method를 통해 유동을 가시화 하였다.

Fig.2는 노즐출구 속도 $U_0 = 1.5$ m/s에서 전기장을 인가하지 않을 경우, 부상화염의 이미지이며(a), 교류전기장 $V_{na} = 7$ kV (rms), $f_a = 26$ Hz가 인가된 경우, 부상화염의 변화를 보여준다(b). 부상화염의 길이가 감소하고 너비가 증가하며, 두 개의 쌍둥이 화염이 관찰되었다. 부상화염의 변화를 좀더 명확하게 하기 위해 화염이 없는 cold flow를 먼저 관찰하였다.

위와 같은 조건으로 전기장을 인가하였을 경우, 전기장이 Cold flow의 직접적인 영향을 주는 것

* 부경대학교 의생명기계전기융합공학협동과정

** KAUST Clean Combustion Center

*** 부경대학교 기계공학과

**** 한국기계연구원 환경에너지기계연구본부

† 연락처, min.cha@kaust.edu.sa,

jeongpark@pknu.ac.kr

TEL : (051)629-6141 FAX : (051)-629-6126

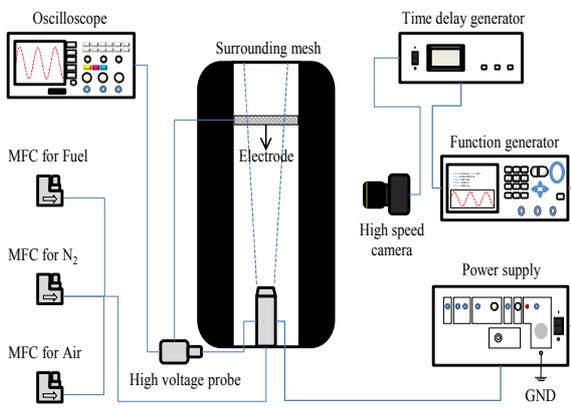


Fig.1 Schematic of experimental setup.

이 확인 되었고 프로판뿐만 아니라 질소, 메탄, 공기를 사용하여 같은 실험을 하였다. 실험 결과 같은 현상이 일어나는 것을 관찰하였다.

이 현상의 원인을 찾기 위해 다음과 같은 실험을 수행하였다. 교류전기장 $V_{na} = 7 \text{ kV (rms)}$, f_a

$= 26 \text{ Hz}$ 를 노즐에 인가하고 평면판을 제작하여 Fig 4(a)와 같이 위치를 설정하였다. 오른쪽 판에 고전압부를 연결하고 왼쪽 판에 접지하였다. Fig. 4(a)를 보면 알수 있듯이 노즐에만 교류전기장을 인가하였을 경우 유동의 변화가 일어나지 않았다. 그러나 평면판에 DC전압 10 kV를 인가하였을 경우, 유동이 오른쪽 평면판으로 이동하는 것을 알 수가 있었다. 이는 유동이 음전하를 띠게 되었음을 보여준다.

음전하가 될수 있는 경우는 크게 두가지로 볼 수가 있다. 첫째, 강한 전기장을 인가 하였을 경우, 중성의 분자 또는 원자에서 전자를 잃거나 얻는 전자 이동이 일어나 전하를 띠게 된다. 둘째, 분자의 전자들이 흡착이 되어 음전하를 띠게 된다.

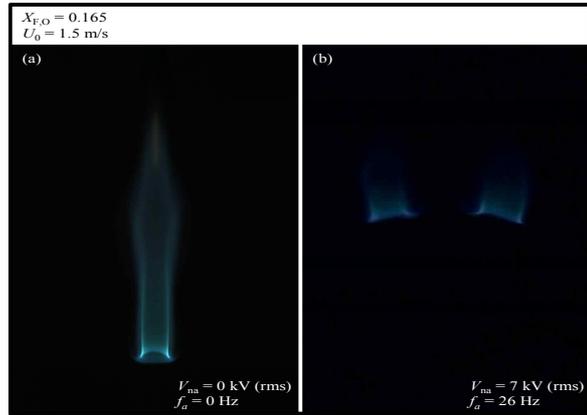


Fig.2 Flame photos $X_{F,O}(C_3H_8)=0.165$ (a) Base condition, (b) AC charging with $V_{na} = 7 \text{ kV(rms)}$, $f_a=26\text{Hz}$.

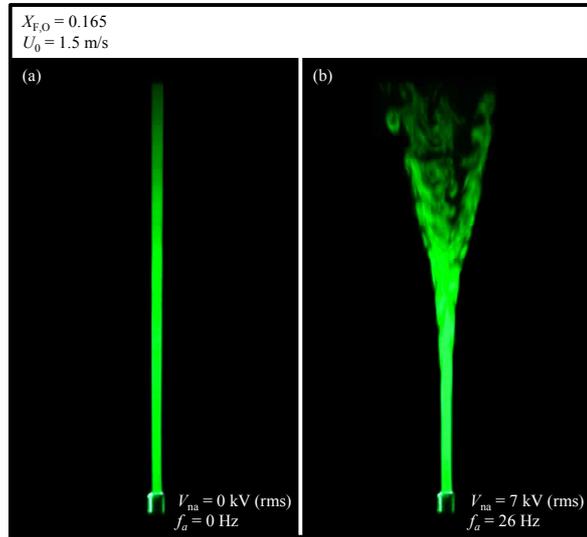


Fig.3 Cold flow photos $X_{F,O}(C_3H_8)=0.165$ (a) Base condition, (b) AC charging with $V_{na} = 7 \text{ kV(rms)}$, $f_a=26\text{Hz}$.

Fig.5는 공기(air) 자유 제트 유동에서 주파수 $f_a = 26 \text{ Hz}$ 로 일정하게 인가 하였을 경우, 전압과 노즐 출구 속도에 따라 유동의 변화를 나타내었으며 다음과 같이 영역으로 구분하였다. 예를 들면, 교류전기장 $V_{na} = 5 \text{ kV}$, $f_a = 26 \text{ Hz}$ 를 인가하였을 경우 노즐출구 속도 $U_0 = 1.12 \text{ m/s}$ 이하에서는 유동의 변화가 일어나지 않았다. 그러나 그 이상의 속도를 증가하게 되면 Breakdown flow가 관찰되었고 그 이상 증가하게 되면 전이상태에서 난류로 되는 것을 관찰하였다.

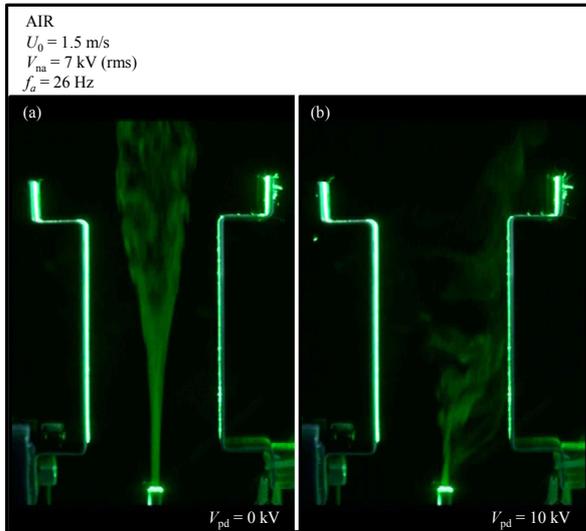


Fig. 4 Cold flow photos with applying voltage $V_{na} = 7 \text{ kV (rms)}$ at $f_a = 26 \text{ Hz}$ (a) $V_{pd} = 0 \text{ kV}$, (b) $V_{pd} = 10 \text{ kV}$

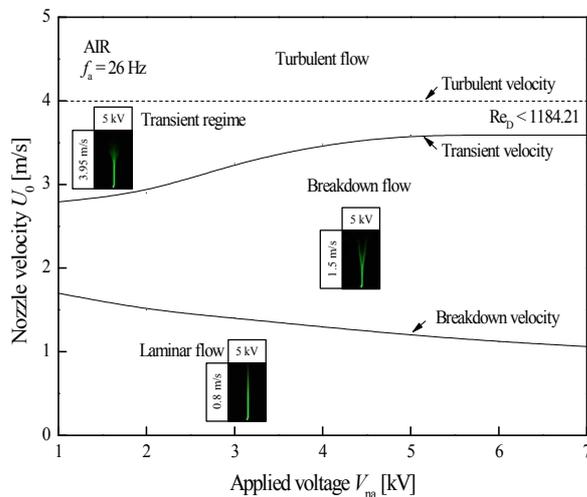


Fig. 5 Regions of different types of air free jet laminar flows for $f_{ac} = 26\text{Hz}$ at various applied AC voltages.

후 기

본 연구는 한국기계연구원의 “300kWh급 가스 터빈 연소기의 NO_x 5ppm 이하 배출성능 구현을 위한 전기장 응용 초회박 연소기 원천기술 개발”과제의 일부로 수행 되었으며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

[1] M.K. Kim, S.K. Ryu, S.H. Won, S.H. Chung. “Electric fields effect on liftoff and blowoff of nonpremixed laminar jet flames in

a coflow.” *Combustion and Flame* 157 (2010)
 [2] S.H. Won, S.K. Ryu, M.K. Kim, M.S. Cha, S.H. Chung. “Effect of electric fields on reattachment and propagation sepped of trivrachial flames in laminar coflow jets.” *Proceedings of the Combustion Institute* 31 (2007) 963-970.
 [3] J. Lawton, F. Weinberg, “*Electrical Aspect of Combustion*”, Clarendon Press, 1969.
 [4] K. Criner, A. Cessou, J. Louiche, P. Vervisch, “stabilization of turbulent lifted jet Flames assisted by pulsed high voltage discharge”, *Combus. Flame*, 144, 2006, pp 422-425