

고주파수 교류전기장이 인가된 대향류 확산 화염에서 화염 거동에 대한 연구

박대근* · 정석호* · 차민석*†

A Study of High Frequency of AC Electric Field on Flame Behavior in Counterflow Nonpremixed Flames

Daegeun Park*, Sukho Chung*, Minsuk Cha*†

전기장을 이용한 연소기법은 생성되는 매연을 줄이고, 화염 전파속도를 증진시키며, 불안정한 화염을 안정시키는 등 화염특성을 개선시키기 위해 사용되어 왔다 [1-3]. 이러한 연구는 1960~70년대 Weinberg와 Lawton의 그룹에서 활발하게 진행되었고[4], 최근 화염에서 화학 반응의 이해증가와 연소진단기법이 확장되면서 전기장을 이용한 연소기법이 다시 부각되고 있다.

전기장을 이용한 화염특성의 이해가 증진되면서, 이온풍에 대한 중요성이 크게 인지되고 있지만 그에 대한 실험적 근거는 크게 부족한 실정이다. 화염내에서 양의 전하(양이온)량과 음의 전하(음이온과 전자)량은 동일하게 존재하고 음의 전하에서 전자량이 음이온량보다 많다고 알려져 있다. 화염내에서 양이온이 지배적이며, 이온풍은 양이온에 의해서 결정되고 단방향으로 존재되어 진다고 알려져왔다.

하지만, 최근 Kim 등은 분젠화염을 통해 저주파수 영역에서는 쌍방향의 이온풍에 의하여 불안정해지고, 고주파수 영역에서는 이온풍이 존재하지 않고 화학반응의 증진으로 화염이 안정화 된다고 보고 하였다. [5]

본 연구에서는 고주파수 교류전기장에서 실제 화염 거동이 어떻게 변화하는지를 명확히 하기 위해 100Hz 이상인 영역에서 대향류 확산화염을 통해 실험적 연구가 수행하였다.

Fig 1은 대향류 버너와 교류 전기장 장치의 개략도이다. 노즐직경과 노즐간의 간격은 1cm로 고정하였고, 버너 상부와 하부에는 산화제(산소 99.999%와 질소)와 연료(프로판, 99.5%)를 각각 20cm/s의 속도로 분사하여 확산화염을 만들었다. 연료/산화제 노즐 외부에는 질소를 동일한 속도 (20cm/s)로 분사하여 외부 교란을 막고 주변 공기와의 또 다른 확산화염 생성을 방지하였다. 또한 각 노즐에 냉각수를 이용하여 연료와 공기의 초기 온도를 유지하였다.

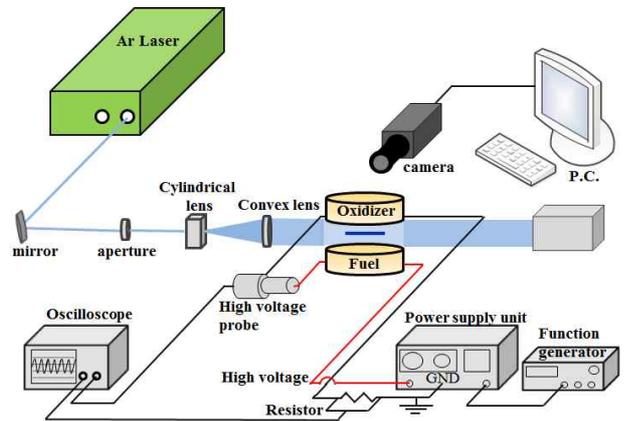


Fig 1. Experimental setup

교류전원 공급 장치(Trek, 10/10B-HS)와 합수 발생기(NF, WF1973)를 이용하여 하부버너에 고전압을 걸어주었으며, 상부버너에는 그라운드를 연결하여 버너 사이에 전기장을 형성하였다. 두 버너 사이에서 균일한 전기장을 발생하기 위해, 다공성 황동 원판이 버너 양 끝에 연결하여 전극으로 사용하였다. 인가된 전압은 2.4kV(RMS)까지 변화를 주었고, 교류 주파수는 100과 1000Hz에서 화염 거동을 디지털 카메라(Nikon, D700)와 고속카메라(Princeton, SA4)를 이용하여 살펴보았다.

Fig. 2는 $Z_{st} = 0.5$ 에서의 프로판 확산화염과 $V_a = 2.0kV$, 100 Hz와 1000 Hz의 교류 전압이 인가된 직접사진(노출시간 : 0.1s)을 보여준다. 각 이미지의 하단에서 상단까지의 거리는 1cm로 버너간의 간격과 일치한다. 전기장을 인가하지 않은 경우, 화염은 두 노즐사이의 중심에 위치하고 있다. 100Hz, 2.0kV를 인가한 경우, 화염의 위치는 변화가 없으며 화염은 진동 없이 안정화되었다. 주파수를 1000Hz로 증가시켰을 때, 100Hz의 경우와 크게 다르지 않았다. 전기장이 인가되지 않은 화염과 비교했을 때, 화염의 밝기만 다를 뿐 화염의 위치와 크기는 변화 없는 것을 알 수 있다.

* Clean Combustion Research Center, KAUST,
† 연락저자, min.cha@kaust.edu.sa
TEL : +966 12 808 2709

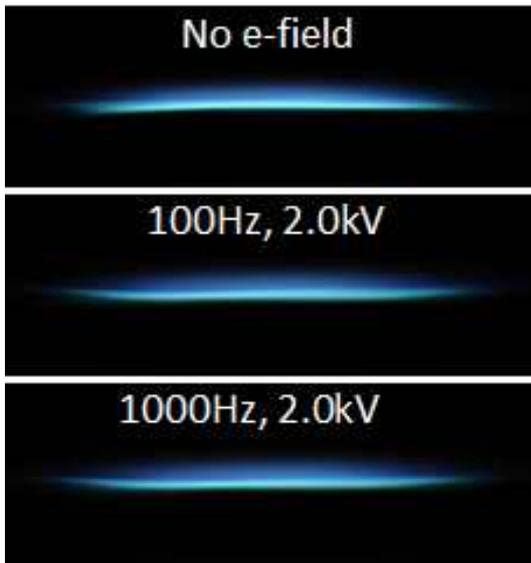


Fig. 2 Typical flame behavior with AC e-field

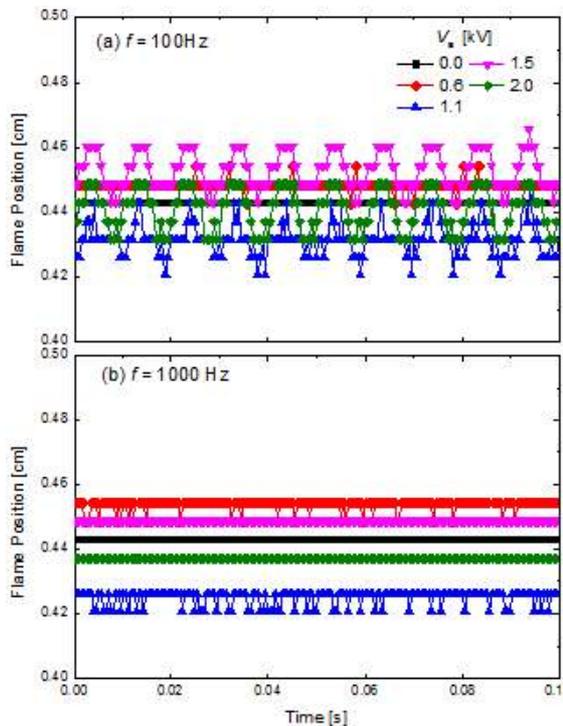


Fig. 3 Temporal flame behaviors

화염 거동을 면밀히 살펴보기 위해, 0.1초 동안의 화염의 위치를 전압과 주파수에 따라 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3 (a) 100Hz를 살펴보면, 전기장을 인가하지 않은 화염은 하단노즐로부터 약 0.44cm에 위치하고 있으며, 0.6kV를 인가시켰을 때에는 화염의 위치가 상부노즐쪽으로 0.01cm 움직임을 알 수 있다. 인가전압 1.1kV 이후부터 화염이 시간에 따라 진동하고 있음을 확인할 수 있다. Fig. 2에서 보여진 직접사진은 진동 없이 안정화된 모습을 보인 반면, 고속카

메라 (2000fps)로 촬영했을시 실제 화염은 진동하고 있음을 알 수 있었다. 진동하는 화염의 평균 위치는 전기장을 인가하지 않은 화염의 위치와 상이하다는 것을 알 수 있다. 0.6kV와 1.5kV에서는 화염 위치는 상부노즐쪽으로 이동하였고, 1.1kV와 2.0kV에서 화염은 하부노즐쪽으로 움직였다. Fig. 3(b) 1000Hz의 경우에도 전압에 따른 화염의 위치는 이와 동일하게 나타났다. 주목할 점은 1000Hz의 경우 화염 진동이 나타나지 않고 안정화되어 있는 것을 볼 수 있다.

전압에 따른 화염 위치는 본 연구에서는 밝혀내기 어렵지만, 화염 위치가 움직인다는 것은 대향류유동에서 정체점이 변화할 수 있음을 인지시키고 이는 유동이 변화할 수 있음을 알게 해준다. 이에 따라 주파수에 따른 이온풍에 대한 유동가시화는 차후에 진행될 예정이다.

후 기

Research reported in this Korean symposium of combustion was supported by King Abdullah University of Science and Technology (KAUST) under Competitive Research.

참고 문헌

- [1] D.G. Park, B.C. Choi, M.S. Cha, S.H. Chung, "Soot Reduction Under DC Electric Fields in Counterflow Non-Premixed Laminar Ethylene Flames", *Combustion Science and Technology*, vol. 186, 2014, pp. 644-656.
- [2] M.S. Cha, Y. Lee, "Premixed Combustion Under Electric Field in a Constant Volume Chamber", *Ieee Transactions on Plasma Science*, vol. 40 2012, pp. 3131-3138.
- [3] M.K. Kim, S.H. Chung, H.H. Kim, "Effect of AC electric fields on the stabilization of premixed bunsen flames", *Proceedings of the Combustion Institute*, vol. 33, 2011, pp. 1137-1144.
- [4] J. Lawton, F.J. Weinberg, *Electrical aspects of combustion*, Clarendon Press Oxford, 1969.
- [5] M.K. Kim, S.H. Chung, H.H. Kim, "Effect of electric fields on the stabilization of premixed laminar bunsen flames at low AC frequency: Bi-ionic wind effect", *Combustion and Flame*, vol. 159, 2012, pp. 1151-1159.