무화염연소 기술을 활용한 연소로의 운전 특성 연구

백종현* · 최종균** · 황승식* · 정태용** · 신동훈**†

Study of the Operating Characteristics of the combustion chamber utilizing a flameless combustion technology

Jonghyun Baek*, Chonggun Choi**, Seungsic Hwang*, Tae-young Chung**, Donghoon Shin**†

무화염 연소는 NOx와 CO의 저감이 동시에 가능한 기술이다.[1] 무화염 연소는 온도분포가 균일해지고 최고온도가 낮아지는 특징을 갖고 있다. 그 결과로 thermal NOx가 저감된다. 무화염 연소를 달성하기 위해서는 연료와 산화제의 반응을 지연시키기는 과정이 필요하다. 반응의 지연은 일반적으로 산화제 또는 연료의 고속 분사와 폐가스를 이용한 희석을 통해 이루어진다. 이와 관련해서 기존 연구자들을 무화염 연소를 위해 배가스의 폐열을 이용한 산화제의 예열을 통해 산화제의 고속유동을 유도하거나 축열식 버너를 사용하여 산화제와 연료의 고속유동을 유도하였다. 현재까지 연구된 무화염 연소 기술은 고속유동으로 생기는 난류의 영향으로 연료와 산화제가 잘 혼합되어 CO의 저감도 가능한 것으로 보고되고 있다. 또한, 여러 연구자들은 무화염 연소기술을 제철, 가스터빈 등에 다양하게 적용하기 위한 노력을 해가고 있다.[2]

하지만, 기존의 무화염 연소 방식에는 고가의 무화염 연소버너, 열교환기, 배가스 재순환을 위한 덕트가 추가로 필요하다. 추가적인 장치는 시스템의 제어를 복잡하게 만들고 부가적인 공간과 비용을 발생 시킨다. 본 연구진은 앞선 선행연구를 통해 산화제의 예열과정이나 특수한 버너 없이 단순한 형태의 로에서 무화염 연소의 특징을 갖는 연소로에 대한 가능성을 확인한바 있다.[3] 본 연구에서는 단순한 무화염 연소로에서 나타나는 특징에 대하여 실험을 통한 연구를 진행 하였다.

실험에 사용한 연로로는 내경 20cm, 높이 50cm 이다. 로 승온은 예혼합연소 조건으로 진행한 후 상부 노즐에서 공기를 공급하고 하부에서 연료를 공급하는 무화염 연소 조건으로 운전했다. 연소로의 운전 특성을 확인하기 위해 당량비, 노즐의 위치, 노즐의 크기를 변수로 실험을 진행하였다. CO와 NOx는 출구에서 Testo 330-II를 이용하여 측정하였다. 로내 온도는 바닥 5cm부터 10cm 간격으로 설치된 k-type 써머커플을 사용하여 측정하였다.

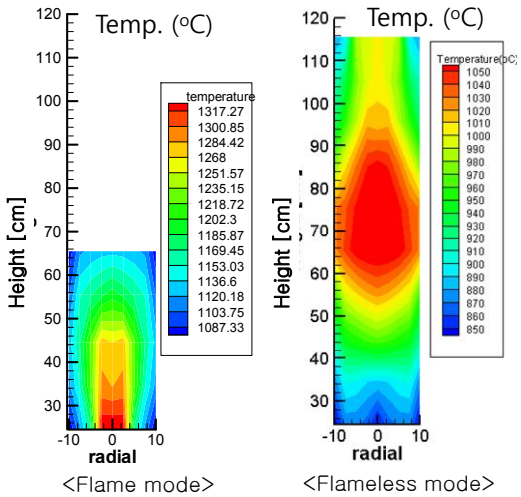

Fig. 1 화염모드와 무화염 연소 모드의 온도 분포 비교[3]

Fig. 2 무화염 연소 실험 장치

* 국민대학교 기계공학부
** 국민대학교 일반대학원 기계공학과
† 연락저자, d.shin@kookmin.ac.kr
TEL : (02)-910-4818 FAX : (02)-910-4839

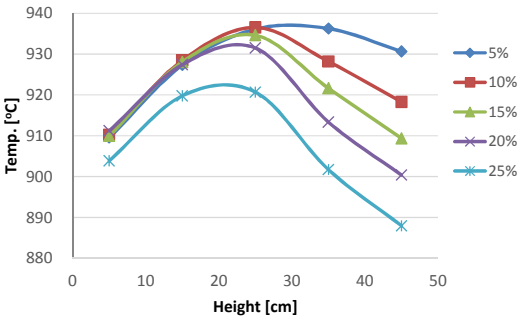

Fig. 3 과잉 공기비에 따른 로 중심 온도 분포의 변화

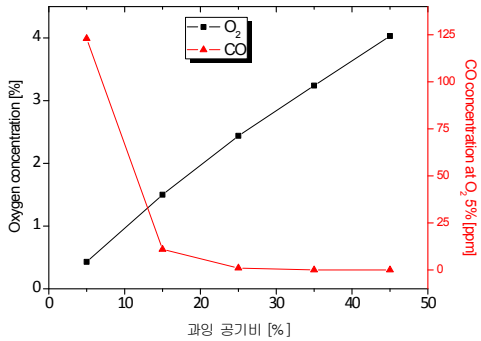

Fig. 4 과잉공기비에 따른 출구 산소농도 및 CO발생량

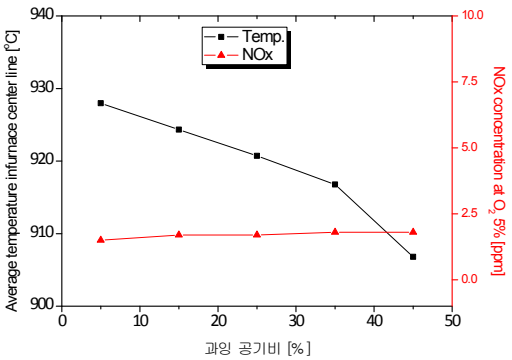

Fig. 5 과잉공기비에 따른 출구 NOx 농도 및 로 중심 평균 온도

과잉 공기비에 따른 온도 분포의 변화를 살펴보면 Fig. 3과 같다. 과잉공기비가 증가할수록 온도는 전반적으로 하락했다. 또한, 최고점의 위치가 공기비가 증가할수록 로 하부로 이동되는 것을 알 수 있다. 이는 공기비가 증가할수록 공기의 유량이 증가하고 유속이 증가함에 따라 상부에서 공급되는 공기가 하부까지 더 강하게 투입됐다는 것을 나타낸다.

또, 과잉공기비에 따른 CO발생량을 Fig. 4에서 보면 과잉공기비 5%때는 123ppm을 나타냈지만, 15%이후에서부터는 급격하게 감소했다. 특히, 25%이상부터는 계측기 상에서 거의 나타나지 않은 것을 볼 수 있다. NOx 발생량을 Fig. 5에서 살펴보면 모든 조건에서 2ppm미만으로 나타났다. 이는 로 중심의 평균 온도가 모든 조건에서 930°C이하로 나타나 Thermal NOx의 생성이 억제된 것을 알 수 있다.

본 연구는 무화염 연소의 특징을 갖는 단순한 로의 특성을 연구했다. 연구 결과는 무화염 연소가 갖는 장점을 활용하는데 필요한 연소로 또는 버너 설계를 위한 기초 자료로 활용될 수 있다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부의 에너지인력양성사업(20134040200580) 및 산업소재핵심기술개발사업(10033389)의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고 문헌

[1] B. Danon, E. Cho, W. Jong and D. Roekaerts, “Parametric optimization study of a multi-burner flameless combustion furnace”, Applied Thermal Eng., Vol. 31, 2011, pp. 3000-3008.

[2] N. Rafidi, W. Blasiak, “Heat transfer characteristics of HiTAC heating furnace using regenerative burners”, Applied Thermal Eng., Vol. 26, 2006, pp. 2027-2034.

[3] C. Choi, S. Hwang, T. Chung and D. Shin, "A Basic Study on Flameless Combustion Technology," 9th Asia-Pacific Conference on Combustion, (2013.05.19.-22), Gyeongju, Korea.