

고효율 저공해 보일러 개발을 위한 평판형 예혼합 버너 특성 연구

조은성, 임덕병, 김용범, 최경석*
(주)경동나비엔, *한국가스안전공사

A Study on the Characteristics of Flat-Plate Premixed Burner for the Development of High Efficiency Low Emission Boiler

Eun-Seong Cho, Duck-Byong Lim, Yong-Bum Kim, Kyung-Suhk Choi*
Kyung Dong Navien Co. Ltd., Korea Gas Safety Corporation

1. 서론

산업발전에 따라 에너지 소비가 증대되고 공해물질 배출이 증가하고 있다 따라서, 연소 효율 향상과 저공해 연소의 실현을 위한 연소기술 개발에 대한 관심이 높아지고 있다

탄화수소 (Hydrocarbon) 연료로 운전되는 연소기기의 배기가스는 일반적으로 질소 (N_2), 산소 (O_2), 이산화탄소 (CO_2), 수증기 (H_2O), 질소산화물 (NO_x), 일산화탄소 (CO), 미연탄화수소 (UHC), 황산화물 (SO_x) 등으로 구성되어 있다. NO_x , CO , UHC, SO_x 는 현재 대기오염 규제를 받고 있으며 CO_2 는 온실효과 (greenhouse effect)를 발생시켜 교토협약 이후 규제대상이 되었다. 이러한 오염물질 중 특히 문제가 되는 것은 질소산화물로서 새로운 기술의 저 NO_x 연소방식을 도입하고 있지 않고서는 엄격해지는 규제에 대응하기 어려우므로 연소기기의 설계에 있어서 공해물질 저감이 최우선과제로 부각되고 있다. 질소산화물은 광화학 스모그의 원인으로 인체에 해를 끼칠 뿐 아니라 산성비의 원인이 되어 생태계에도 심각한 영향을 미친다. 최근에 들어 환경문제가 사회문제로 대두됨에 따라 실용 연소기에서의 규제도 한층 강화되어 질소산화물 발생을 억제해야 하는 필요성이 점차 증대되고 있다[1~4].

가정용 보일러의 경우 연소실이 작고 짧은 공간내에 열교환기에 의한 급격한 온도 저하로 quenching 영향 등에 의하여 높은 CO 발생이 문제가 되고 있으며, CO 과다발생의 경우 중독에 의한 생명에 위협을 입을 수 있으므로 특별히 주의 하여야 한다

본 연구에서는 상기의 가정용 보일러에서 사용되는 고효율 저공해 버너를 개발하기 위하여 예혼합방식의 버너에서 많이 사용되고 있는 표면 매질을 이용하여 (세라믹, 메탈화이버, SUS 편) 매질 특성에 따른 연소특성을 확인하여 표면연소 버너의 특징 및 각각의 매질에 따른 버너 특성을 확인하여 보았다.

2. 비연소 실험

2-1. 예혼합 버너 특성

현재 국내에서 개발되어 사용되고 있는 가정용 보일러용 버너는 주로 화산화염의 분젠연소로 연소범위 등이 넓어 운전 영역의 과잉공기비 사용범위가 넓다는 장점이 있으나 공기와 연료의 혼합특성이 좋지 않아 전반적으로 화염길이가 길고 적염의 발생이 많아 CO 발생이 높은 경향을 보인다. 또한 화염온도가 높아 NO_x 발생도 큰 것을 알 수 있다. 이에 비하여 예혼합 화염의 경우 연료와 공기가 미리 섞여서 공급되어 혼합특성이 좋으며 청염을 나타내어 CO 발생이 적고 화염온도가 균일하고 낮아 NO_x 발생이 적은 특징을 갖는다. 또한, 화염길이가 낮아 연소실을 작게 사용할 수 있어 compact 한 연소시스템을 구성할 수 있는 장점이 있다[5~6].

예혼합화염에서 사용되고 있는 매질은 세라믹 판형, 메탈화이버, SUS 타공판으로 구분될 수 있으며 열교환기와의 매칭 형상에 따라 평판형 또는 원형으로 사용되어진다

본 연구에서는 평판형 버너를 대상으로 했으며 Fig. 1에 사용된 버너의 세 가지 종류에 대한 사진을 나타 내었다.

세라믹 판의 경우 저부하시 화염길이가 작아져 버너 면이 적열될 경우 평판의 온도가 높아 지는데 이에 대한 내구성이 좋으며, 또한, 표면 형상을 자유롭게 성형할 수 있어 보염 구조 및 균일한 화염을 보이는 장점을 가지고 있다. 단지, 물이 화염면에 떨어질 경우 등의 급속한 온도저감 등에 의한 환경영향에 대하여 재료의 취성이 약하여 쉽게 파괴될 수 있는 단점을 가지고 있다[7]. 메탈화이버의 경우 다른 매질에 비하여 높은 기공율을 가져 (80% 이상) 송풍부하에 따른 압력손실이 적은 장점을 가지고 있다. 또한 자유롭게 형상변경이 가능하므로 평판형, 원통형 등 다양한 모양으로 사용이 가능하다. 적열시에도 내구성에는 크게 문제가 없는 것으로 알려져 있으며, 최근 국내에서 제품이 출시되고 있으나 주로 외국에서 수입된 제품을 사용하여 제품가격이 비싼 것이 단점이다. 또한 SUS 재질에 타공을 하여 화염면을 형성시키는 방식이 있는데 다양한 타공모양의 변형을 통하여 적절한 화염면을 형성시킬 수 있는 장점이 있다. 단점으로는 저부하시 화염면이 적열될 경우 금속표면이 열에 의하여 팽창 및 수축되는 과정에서 평면에 변형이 생김과 동시에 화염면의 변형에 의하여 전체시스템에 피해를 줄 수가 있다.

2-1. 비연소 실험장치 및 실험결과

연소실험에 앞서 각각의 매질에서의 유동특성을 확인하기 위하여 비연소 실험장치를 제작하였다. Fig. 2는 사용된 실험장치 사진으로 버너 표면에 대하여 3축 트레버스에 Hot wire 타입의 유속측정기(VT-200T, KIMO)를 연결하여 출구 각각의 위치로 트레버스로 이송하여 토출되는 공기의 평균속도를 측정하였다. 프로판(C₃H₈)의 경우 사용연료에 비하여 사용되는 공기량이 이론공연비일 경우 23배 이상이고 과잉공기비 조건에서는 30배 이상이므로 공기속도를 측정하므로써 전체 시스템에서의 평면 속도 균일도를 판단하였다.

버너 표면의 매질특성에 따른 속도분포를 측정하기에 앞서 송풍기 유동 특성 및 타공판 통과시의 특성을 확인하였다. Fig. 3의 (a)는 송풍기에서 윈드박스를 통하여 나오는 공기의 속도분포를 측정한 것으로 송풍기에 나온 유속은 오른쪽 하단부로 집중되어 나오는 것을 알 수 있다. 이에 따라 오른쪽 하단부에 저항을 설치하고 그 위로 2단의 타공판을 설치한 후의 속도분포를 Fig. 3의 (b)에 나타내었는데 전반적으로 균일한 속도분포를 보이는 것을 알 수 있었다. 이러한 구조 위에 Fig. 4와 같이 매질을 변경하면서 동일 송풍기 rpm에서 버너 표면으로부터 10 mm, 20 mm 조건에서 속도분포를 측정하였으며 이를 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5 (b)의 20 mm 조건이 10 mm 결과보다 균일한 속도분포를 보이고 SUS 판의 경우 가장 좋은 속도 균일성을 보이고 있다.

3. 연소실험

3-1. 연소실험 장치

비연소 실험에서 확정지은 사양의 버너를 이용하여 예혼합 버너의 표면 매질에 따른 특성을 연소실험을 통하여 확인하기 위하여 Fig. 6과 같이 연소실험장치를 구성하였다. 버너표면에 부착되도록 연소실을 제작하였고 연소실에 구리재질의 핀튜브 타입의 열교환기를 설치하여 열회수를 하였다. 연소실 전면에 석영유리 (Quartz window)를 설치하여 화염을 관찰하도록 하였고 비디오를 이용하여 화염을 촬영하였다. 또한, 연소실 벽면에 R-Type 열전대를 일정 간격으로 설치하여 연소실 내부의 온도를 각각의 조건에서 측정하였다 측정된 온도는 데이터 취득장치 (MX-100, YOKOGAWA)를 이용하여 컴퓨터에 실시간 저장되도록 하였다. 배기 가스는 다양한 조건에서 열교환기 후단 배기 후드에 계측기를 삽입하여 O₂, CO₂, CO, NO 등을 측정하였다. 연료는 순수 프로판(C₃H₈)을 사용하였다.

3-2. 연소실험 결과

버너 매질에 대한 연소실험을 수행하면서 각각의 매질에서의 화염모양을 Fig. 7에 나타내었다. 평면화염의 경우 화염형태는 과잉공기비에 따라 부착화염에서 부상화염 바뀌는 형태를 갖는데 이는 과잉공기비 증가에 따라 예혼합화염의 특성값인 화염전파속도가 감소하고 반면에 공기비가 증가함에 따라 공기량의 증가로 버너표면의 분사속도는 증가함으로 점차 화염이 부상되는 특징을 갖는다. 화염이 부착될 경우 화염면이 적열되어 내구성에 문제가 될 수 있고 부상화염의 경우 화염불안정에 의한 소음발생 등의 문제가 될 수 있어 실제 운전조건은 이 두 조건내에서 적절한 운전 구간을 선정한다.

Fig. 8은 SUS fin 평면화염에서 연소부하 및 과잉공기비에 따른 NO 및 CO 농도 분포를 나타낸 것이다. CO의 경우 연소부하가 클수록 발생량이 많은 것을 알 수 있으며 과잉공기비 증가에 따라 점차 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 연소부하 증가에 따라 화염길이가 증가하고 이에 따라 열교환기의 수관에 직접 닿는 화염이 증가하여 화염온도 저감에 따른 quenching의 증가라고 생각되어진다. 또한, 부하증가에 따라 버너 표면의 유속이 상대적으로 증가하면서 연소실내에서 체류시간 (residence time)이 감소함에 따라 CO에서 CO₂로의 산화시간이 적어 상대적으로 CO 발생이 높은 것으로 사료된다. NO의 경우 연소부하에 따른 발생량 차이는 크게 보이지 않으며, 과잉공기비 증가에 따라 NO 발생이 줄어드는 것을 알 수 있다. 이는 과잉공기비 증가에 따른 화염온도의 저하에 의한 영향으로 thermal NO_x 발생이 줄어든 효과라고 사료된다.

과잉공기비 1.3~1.5 사이를 양호한 연소범위로 결정될 수 있으며 효율 및 배기가스 발생량을 기준으로 적절한 운전 조건을 정할 수 있다.

나머지 두 매질 (세라믹, 메탈화이버)에 대하여 상기의 테스트를 수행하였으며, 8,700 kcal/hr 열부하 조건에서 세라믹, 메탈화이버, SUS fin 에서의 CO, NO 배기가스 발생특성을 Fig. 9에 나타내었다. CO, NO 모두 과잉공기비 증가에 따라 감소하는 경향을 보이고 있으며, CO의 경우 SUS 핀, 세라믹 판형, 메탈화이버 순으로 높은 발생량을 나타내고 있으나 최고 발생량은 36 ppm 정도로 그 양은 많지 않다. NO의 경우 버너 매질에 관계없이 거의 같은 값을 갖는 것을 알 수 있다.

세 가지 조건에 대하여 과잉공기비 1.3 조건에서 버너면 부터 높이방향으로 온도분포를 측정하여 Fig. 10에 나타내었다. 버너 후면으로 갈수록 온도가 감소하는 경향을 보이고 세라믹 판, SUS 핀, 메탈화이버 순으로 온도분포를 보이고 있다.

온도 분포와 배기배출물에 대한 특성은 현 결과로는 명확히 구분하기는 어려우며 다만 메탈화이버의 경우 다른 매질에 비하여 온도가 낮으며 CO 발생도 적은 특성을 보인다. 메탈화이버의 경우 기공율이 큰 특징을 가지고 있는데 이에 대해서는 좀더 연구가 필요할 것으로 사료된다. 부하가 큰 조건에서는 메탈화이버의 경우도 다른 매질과 비슷한 CO 분포를 보이거나 여전히 온도는 낮은 특성을 보인다.

4. 결론

가정용 저공해 고효율 보일러 개발을 위한 선행연구로 평판형 예혼합버너 연구를 위하여 세라믹, 메탈화이버, SUS 핀 평면버너에 대하여 연소표면의 속도분포 및 연소특성을 각각의 매질에 대하여 실험하였다.

1. 비연소 실험을 통하여 버너표면의 속도분포를 균일하기 위하여 버너 내부에 타공판 등을 설치하였으며, 세라믹, 메탈화이버, SUS 핀 표면에서 분사속도를 측정하였으며 SUS 표면의 경우가 속도균일도가 가장 좋음을 알 수 있었다.
2. SUS 핀 평면화염에서 연소실험 결과 CO의 경우 연소부하가 클수록 발생량이 커지고 과잉공기비 증가에 따라 감소하는 경향을 보이고 있다. NO도 과잉공기비 증가에 따라 감소하는 경향을 보이고 있으나 부하에 따른 차이는 보이지 않고 있다.
3. 동일 연소 부하 (8,700 kcal/h) 에서 SUS 핀, 세라믹, 메탈화이버 순으로 높은 CO 발생량

을 보이고 NO의 경우 발생량의 차이는 보이지 않고 있다 온도분포는 메탈화이버의 경우가 상대적으로 낮게 나타나는 특징을 보이고 있다.

5. 후기

본 연구는 에너지관리공단의 에너지·자원기술개발사업의 지원을 받아 수행하였으며 이에 감사드립니다.

6. 참고문헌

1. Turns, S.R. An Introduction to Combustion 2nd Edition, McGraw-Hill, New York, 2000.
2. Bowman, C.T. Control of Combustion Generated Nitrogen Oxide Emissions : Technology Driven by Regulation, Proc. Combust. Inst., 1992, 24, 859-878.
3. Beer, J.M. Low NO_x Burners for Boilers, Furnaces, and Gas Turbines; Drive Towards the Low Bounds of NO_x Emissions, Combust Sci. and Tech., 1996, 121, 169-191.
4. Ahn, K.Y.; Kim, H.S.; Cho, E.-S.; Ahn, J.H.; Kim, Y.M. An Experimental Study on Combustion Processing and NO_x Emission Characteristics of the Air-Staged Burner, KSME International Journal, 1999, 13, 477-486.
5. Williams, M.A.; Woolley, R.; Lawes, M. The Formation of NO_x in Surface Burners, Combustion and Flame, 1992, 89, 157-166.
6. Cho, E.-S.; Chung, S.H. A Numerical Analysis of the NO Emission Characteristics in CH₄/Air Counterflow Premixed Flame, KOSCO Journal, 2004, 9, 22-27.
7. Hwang, S.S. Combustion and Emission Characteristics of the Surface Flames in Porous Ceramic Burner, KOSCO Journal, 2001, 6, 29-35.



(a) Ceramic (b) Metal fiber (c) SUS fin
Fig. 1 Surface material of premixed burner.

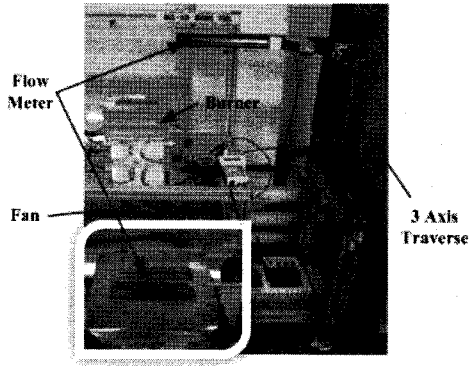
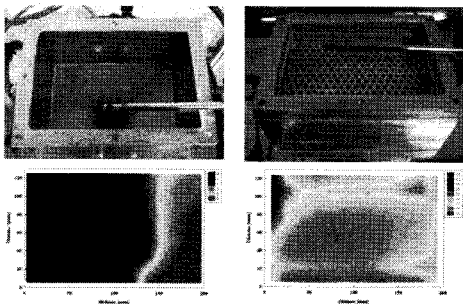


Fig. 2 Experimental apparatus of cold flow test.



(a) Windbox outlet (b) Perforate plate outlet
Fig. 3 Velocity contour of burner outlet.

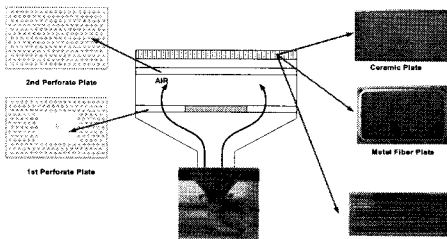
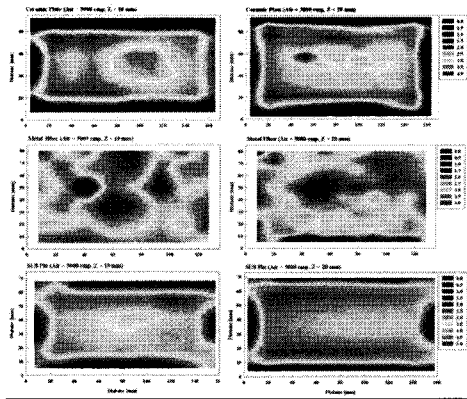


Fig. 4 Schematic diagram of burner inner structure.



(a) Hight 10 mm (b) Hight 20 mm
Fig. 5 Velocity contour of each surface material.

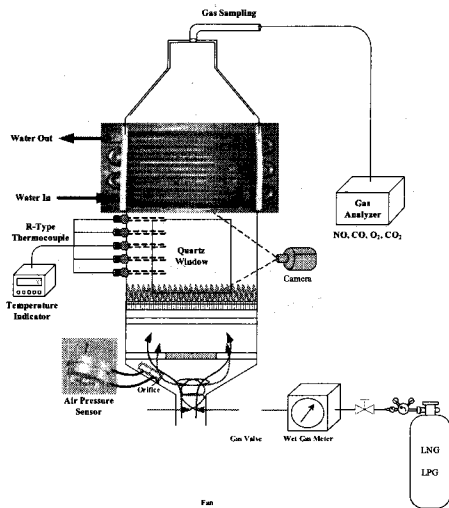
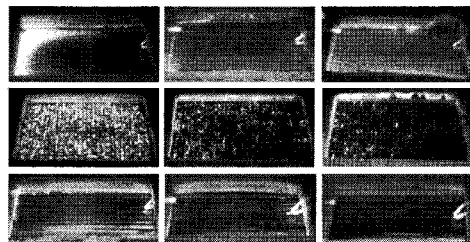
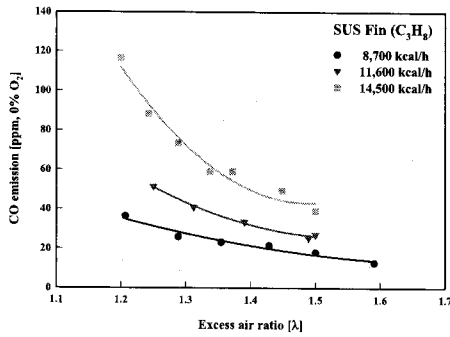


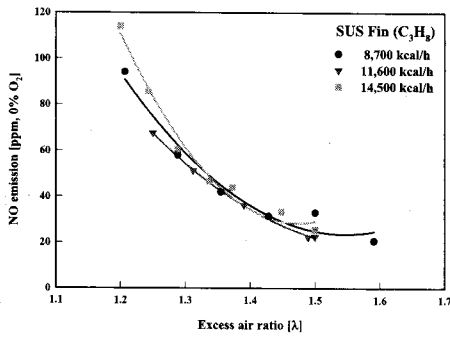
Fig. 6 Experimental apparatus of surface premixed burner combustion test.



(a) Attached (b) Normal (c) Lifting
Fig. 7 Photos of flame shape with excess air ratio for each surface materials.

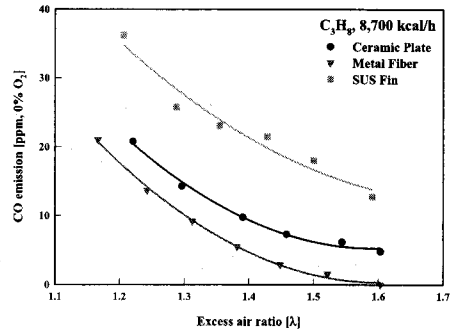


(a) CO emission

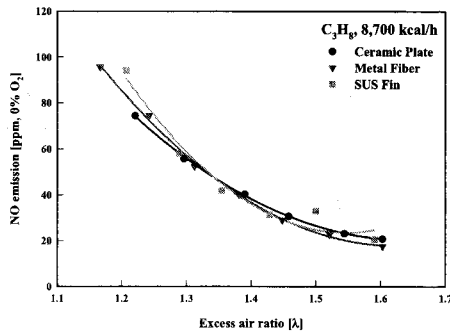


(b) NO emission

Fig. 8 CO, NO emission with excess air ratio for combustion load in SUS fin plate.



(a) CO emission



(b) NO emission

Fig. 9 Comparison of CO, NO emission with excess air ratio for surface material (8,700 kcal/h).

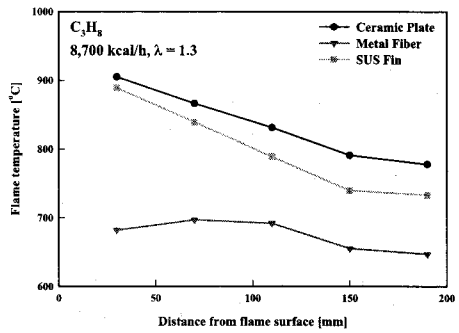


Fig. 10 Comparison of flame temperature with height from burner surface for surface material (8,700 kcal/h, λ=1.3).