

저 NOx 응축형 가스보일러 개발에 관한 연구 (I)

- 원통형 다공 예혼합 연소기 설계 -

이창언* · 금성민** · 정영식*** · 이규영****
(2000년 8월 4일 접수)

A Study on the Development of Low NOx Condensing Gas Boiler (I) - Design of Cylindrical Multi-Hole Premixed Burner -

Chang Eon Lee, Sung Min Kum, Young Sik Jeong and Gyu Young Lee

Key Words : Condensing Boiler(응축형 보일러), Multi-Hole Burner(다공 연소기), Turn-Down Ratio(최대부하에 대한 최소부하의 비), Main Hole(주염공), Retention Hole(부염공)

Abstract

This paper describes a design study of the cylindrical multi-hole premixed burner to be used for condensing gas boiler which can raise performance and reduce NOx emission. In this study, specifications of the multi-hole burner (hole diameters and arrangement) are investigated using model flat burners in terms of flame stability, and combustion characteristics for stability and NOx emission are examined for cylindrical multi-hole burner. As a result, the equivalence ratio for optimum operation condition of the cylindrical burner is around 0.72(0.7~0.75). In this condition, turn-down ratio becomes 3 : 1 at least which is suitable for proportional control. The NOx and CO emission is less than 40ppm and 25ppm(O₂ 0% basis), respectively. This burner can be applied LPG as well as NG because there is no difference for stable combustion region

기호설명

- D : 주염공의 직경
- d : 부염공의 직경
- S : 주염공과 부염공 사이의 간격
- L : 메쉬와 연소기 표면 사이의 간격
- t : 연소기 박판의 두께

1. 서 론

가스 보일러는 근년, 생활수준의 향상, 에너지

및 환경 정책에 힘입어 대표적인 가정용 온수난방장치로 사용되고 있으며, 도시가스 배관망이 계속 확장되고 있어 그 수요는 더욱 증가하리라 예상된다. 현재, 국내에서 사용되는 대부분의 가스보일러는 분젠버너 상부에 열교환기를 설치한 구조로 되어 있어 다음과 같은 구조적 문제점을 갖고 있다.^(1,2) 우선, 효율상승을 위해 열교환율을 높이면 열교환기 표면에 응축 액적이 생성되면서 낙하하기 때문에 화염이 불안정해지면서 불완전 연소가 발생하며, 열교환기 표면에 검정(soot)이 축적되어 안전사고가 발생할 가능성이 높아진다. 따라서 이 보일러에 대해서는 배기가스가 160°C 이상의 온도에서 배출되도록 법제화되어 있어, 공급 열량의 약 15% 이상의 에너지를 버릴 수밖에 없는 구조로 되어 있다. 또, 분젠버너 화염은 당량비 1.5 근방의 부분 예혼합 화염으로 화염길이가 비교적 길기 때문에 연소실이 커지며, NOx도 예혼합 화염에 비해 많이 배출되는 문제

* 회원, 인하대학교 기계공학과
E-mail : chelee@inha.ac.kr
TEL : (032)860-7323 FAX : (032)868-1716

** 회원, 한라대학교 기계공학부
*** 회원, 인하전문대학 기계과 겸임교수
**** 회원, 인하전문대학 자동차공학과

점이 있다.^(3,4)

위와 같이 열효율, NO_x 배출 측면에서 구조적인 문제점을 갖고 있는 분젠버너식 가스 보일러로는 점차 강화되는 환경 오염 방지 및 에너지 절약 정책을 만족시킬 수 없기 때문에, 이 문제점들을 동시에 극복할 수 있는 새로운 개념의 보일러 개발이 시급한 실정이다. 근년, 유럽을 중심으로 한 선진국에서는 분젠버너식 보일러의 단점을 보완한 다양한 형태의 응축형 보일러가 선보이고 있다. 이들 응축형 보일러는 NO_x 배출량을 저감하기 위해 예혼합 연소기를 사용하고 있으며, 구조는 다소 복잡하나 응축 열교환이 가능한 열교환기를 사용하고 있다.^(5,6) 그리고, 국내 보일러 업체에서도 국가의 효율 등급화를 통한 에너지 절약 정책 및 환경 마크를 통한 공해저감 정책에 대처하기 위해 응축형 보일러에 대한 관심이 점차 높아지고 있는 실정이다.⁽⁷⁾

Fig. 1은 본 연구 그룹에서 개발중인 응축형 보일러의 개략도이다. 연소기 및 열교환기는 모두 원통형이며, 연소기는 열교환기의 상부 중심에 내장되어 있다. 열교환기는 원통 내부에 여러 개의 핀이 성형된 핀형 열교환기(알루미늄 압출품)와 그 외부에 난방수 및 온수 유로를 형성하면서 핀형 열교환기를 통하여 전달된 열을 난방수 혹은 온수에 전달하기 위한 코일형 열교환기로 구성되어 있다. 핀형 열교환기는 연소기 바로 측면에 위치한 상부 열교환기와 핀의 높이가 높은 하부 열교환기로 구성되어 있으며, 하부 열교환기

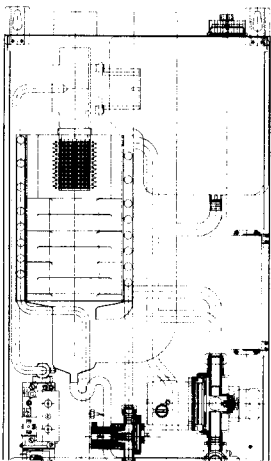


Fig. 1 Schematic of condensing boiler

에는 난류강도 및 핀과의 접촉을 증가시키기 위해 배플이 설치되어 있다.

본 보일러의 특징은 하부 열교환기에서 응축 열교환에 의해 액적이 생성되어도 연소과정에는 아무런 영향을 미치지 않기 때문에 보일러의 효율을 높인데 구조적인 장애가 없다는 것이다. 또, 연소 방식은 예혼합 연소^(3,9)이며, 화염면 직후에 열교환기가 설치되어 있어 NO_x 발생량을 현저히 저감시킬 수 있도록 고안된 것이라 할 수 있다. 본 논문은 이 응축형 보일러를 개발하는 과정에서 얻어진 연구 결과로 제 1보에는 원통형 연소기에 대한, 제 2보에는 원통형 열교환기 및 시제품 보일러에 대한 결과를 기술하고자 한다.

본 논문(제 1보)은 위 응축형 보일러에 사용할 원통형의 예혼합 연소기에 관한 연구 결과이다. 이 연소기는 다수의 화염구가 천공되어 있는 얇은 박판의 내부에 역화 방지 및 유량분배를 균일하게⁽¹⁰⁾ 하기 위해 메쉬(mesh)가 삽입한 형태로 되어 있는, 일명, 박판 다공 연소기이다(Fig. 10 참조). 본 연구에서는, 우선, 평면의 단순 연소기를 이용하여 다공 연소기의 최적 제원(화염구 직경, 배열 및 간격 등)을 검토하였다 다음에, 이 결과를 토대로 제작된 원통형 연소기를 대상으로 안정 연소영역, NO_x 배출 특성을 개방 상태(보일러 내부에 장착하지 않은 상태)에서 검토하여 연소기의 최적 설계 제원과 적정 연소조건을 결정하였다.

2. 다공 연소기의 제원 결정

2.1 염공의 기본 형태 결정

Fig. 2는 박판 다공 화염과 일반적인 노즐 화염과의 차이점을 검토하기 위해, 동일한 직경의 박판 염공(D=5mm, t=0.5mm)과 파이프 염공(D=5mm, L=100mm)에 형성된 예혼합 화염의 안정 연소영역을 비교한 것이다. 그림에서 혼합기 유속은 평균유속이며, 안정 연소영역이란 역화 및 blow-off 한계를 나타내는 좌, 우 라인의 내부를 말한다. 이 좌, 우 라인은 부하 측면에서는 각각 최소 및 최대 부하에 해당하며, 이 최대 부하를 최소 부하로 표준화한 TDR(turn-down ratio)은 연소기의 가변 운전 비를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이, 파이프 화염은 당량비를 적절히 선정한다면 안정 연소영역이 비교적 넓게 나타나며,

한 예로, 당량비가 0.9 근방이면 TDR이 3 정도로 가변 운전비가 비교적 크다. 반면, 박판 화염의 경우에는 적절한 당량비 범위에서도 안정 연소영역이 매우 작고, 당량비 0.9 근방에서 TDR이 1.5 정도로 실용 연소기 측면에서 보면 가변 운전 범위가 매우 작다고 할 수 있다. 따라서, 실용 연소기에 적합한 박판 다공 연소기를 개발하기 위해서는 우선 TDR을 확장시킬 수 있는 방안이 수립되어야 함을 알 수 있다. 단, 이와 같은 두 화염간의 안정성의 차이는 주로 염공 근방의 유속분

포, 열손실 등에 기인하리라 예상되나, 이에 대한 상세한 논의는 본 논문의 목적과 다르므로 생략한다.

Fig. 3은 위에 지적한 박판 다공 연소기의 TDR을 개선하기 위하여 고안한 연소기 구조의 기본 형태를 도시한 것이다. 염공 배열은 주염공(main hole) 주위에 작은 직경의 부염공(retention hole)을 설치하여 화염의 안정성을 개선하고자 고안된 것이며, 연소기 내부에 설치한 메쉬(mesh, SUS 316)는 역화를 방지함과 동시에 혼합기를 균등히 분배하고자 고안된 것이다. 박판의 재질은 비교적 가공이 용이하고 내열성이 좋은 스테인레스(SUS 316)를 사용하였으며, 박판의 두께는 0.5mm로 하였다.

본 절에 기술한 연구 내용은 Fig. 3에 도시한 주염공의 직경(D), 부염공의 직경(d), 주염공과 부염공 사이의 간격(S), 메쉬 및 연소기 표면간의 간격(L) 등의 각 인자가 박판 다공 연소기의 안정성에 미치는 영향을 검토한 것으로, TDR 측면에서의 최적조건을 도출하여 다음 절의 원통형 연소기의 설계자료로 이용하였다.

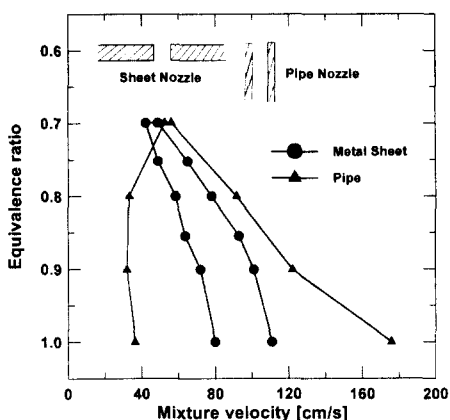


Fig. 2 Comparison of stable combustion region of sheet nozzle and pipe nozzle flame

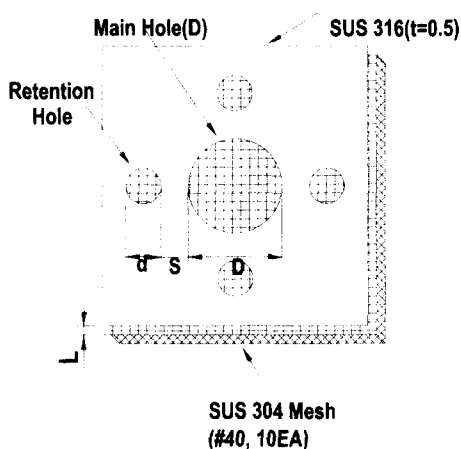


Fig. 3 Schematic of burner structure of sheet multi-holes burner

2.2 주염공의 직경 결정

Fig. 4는 박판 다공 연소기의 주염공 직경에 따른 연소 안정성을 검토한 것으로, 실험은 박판에 주염공 하나만을 천공하여(Fig. 3에서 부염공 없는 경우) 수행하였으며, 직경은 소염거리에 해당

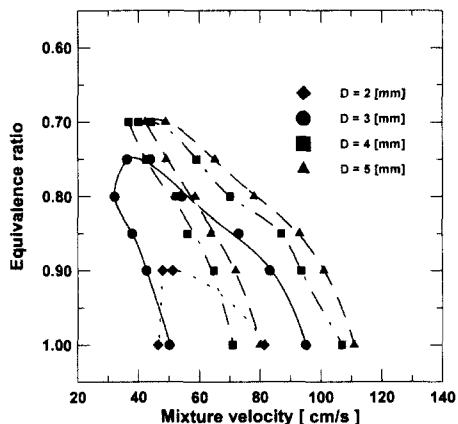


Fig. 4 Comparison of stable combustion regions for various main hole diameters (D=2, 3, 4, 5 mm)

하는 2mm에서 5mm까지 1mm 간격으로 변화시켰다.

그림을 보면, 직경이 클수록 안정 연소영역은 혼합기 유속이 큰 쪽으로, 또, 당량비가 낮은 쪽으로 이동함을 알 수 있다. 이 결과는 직경이 클수록 연소기 표면 부하를 크게 할 수 있으며, 희박 연소가 가능함을 의미한다.

그러나, TDR은 직경 3mm의 경우가 직경 4, 5mm인 경우보다 크게 나타나고 있다. 이 결과로부터 주염공 직경은 TDR 측면에서는 3mm인 경우가 가장 유리하나, 연소기 표면 부하 및 NOx 배출 측면에서는 5mm인 경우가 더 유리하리라 여겨진다. 따라서 이하에서는 주염공 직경 3, 5mm를 대상으로 그 외 인자들에 따른 연소 안정성을 검토하였다.

2.3 부염공의 제원(직경, 간격) 결정

일반적으로 주염공 주위에 직경이 작은 부염공을 Fig. 3과 같이 설치하면, 주염공의 화염이 blow-off 한계에 도달하더라도 부염공에서 분출되는 유속은 주염공보다 작기 때문에 부염공에는 화염이 형성되며, 이 화염이 연소기 표면 가열 및 주염공 화염의 부착 지점에 연소 중간 생성물을 공급하기 때문에 주염공 화염의 blow-off 한계도 높일 수 있다.^(1,8)

Fig. 5는 주염공 직경 5mm, 염공 간격 1mm로 일정하게 하고, 부염공의 직경만을 변화시킨 경

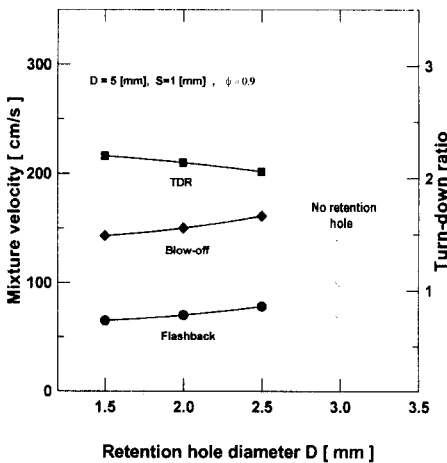


Fig. 5 Variation of flashback, blow-off and TDR with the diameter of retention hole diameter

우의 역화, blow-off 한계 유속 및 TDR을 도시한 것이다. 우선, 부염공의 유무에 따른 차이를 살펴 보면, 부염공이 없는 경우(Fig. 4, D=5mm의 실험 결과) 역화 및 blow-off 한계 유속은 각각 70, 100cm인데 반해, 부염공이 있는 경우에는 역화 한계는 거의 동일하나 blow-off 한계 유속은 약 150cm로 1.5배 정도 증가함을 알 수 있다. 따라서 부염공은 역화 한계에는 영향을 미치지 않으나, blow-off 한계를 높게 하여 TDR을 크게하는 효과가 있음을 알 수 있다. 다음에, 부염공 직경에 따른 차이를 살펴보면 직경이 작을수록 역화 및 blow-off 한계는 낮아지나, TDR은 약간 커지는 경향을 볼 수 있다. 그러나, 부염공 직경의 크기에 따른 차이는 그다지 크지 않음을 알 수 있다. 이와 같은 경향은 주염공 직경이 3mm를 대상으로 부염공 직경을 0.5mm에서 1.5mm까지 변화시킨 실험 결과에서도 유사하였다. 위 결과로부터 부염공의 직경은, 가공상의 편리성을 고려하여, 주염공 직경이 5mm인 경우에는 2mm, 주염공 직경이 3mm인 경우에는 1.5mm로 선정하였다.

Fig. 6은 주염공과 부염공간의 간격(s)에 따른 연소 안정성을 검토한 것으로, 그림은 주염공 5mm, 부염공 2mm인 경우이다. 그림을 보면, 두 염공간의 간격은 역화 한계에는 아무런 영향을 미치지 않으나, blow-off 한계에는 매우 민감함을 알 수 있다. 즉, blow-off 한계 유속을 당량비 0.9에서 비교해 보면, 부염공이 없는 경우(별★ 표

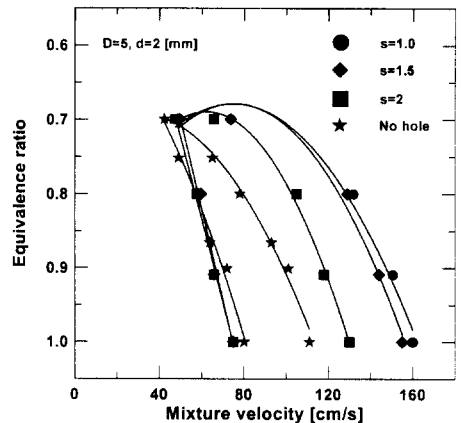


Fig. 6 Effect of main and retention hole separation on the stable combustion region

시)100cm/s이던 것이, 간격이 2mm인 경우 약 120cm/s, 간격이 1.5mm 보다 작아지면 약 150cm/s가 되어 TDR은 부염공이 없는 경우보다 1.5배 정도 향상됨을 알 수 있다. 그리고 이 염공간의 간격은 1.5mm 이내에서는 그 차이가 미소하기 때문에 간격이 1.5mm 이내이면 부염공의 역할을 충분히 수행할 수 있음을 알 수 있다. 주염공 직경 3mm, 부염공 직경 1.5mm인 경우에도 간격을 0.5mm에서 1.5mm까지 변화시킨 실험 결과(Fig. 6과 유사하기 때문에 그림 생략)에서 간격이 1mm 이내이면 부염공의 역할을 충분히 수행함을 알 수 있었다. 위 결과를 근거로 염공간의 간격은 주염공이 5mm인 경우는 1mm로 하였으며, 주염공이 3mm인 경우는 1mm 이내가 좋지만 가공성을 고려하여 1mm로 하였다.

3. 원통형 연소기의 제원 및 성능

3.1 시제품 연소기의 제원 및 화염 형상 위에 언급한 기초 연구들을 근거로, 염공 배열

형태가 Fig. 7과 같은 4 종류의 시제품 원통형 연소기(Fig. 10 참고)를 제작하였다. 연소기의 직경은 열교환기의 내부공간을 고려하여 60mm로 정하였고, 연소기 길이는 보일러 용량 20,000kcal/hr에 적합하도록 결정하였다. Fig. 7에서 Type 1, 2는 주염공 직경 3mm, 부염공 직경 1.5mm, 염공 간격 1mm 인 연소기이다. Type 2 연소기(개구율 38%)는 Type 1(개구율 21%)의 4개의 주염공 중심에 또 하나의 주염공을 배치한 형태로, 동일 연소기 표면적에서 약 2배의 연소 부하를 얻을 수 있다. Type 3(개구율 28%)과 Type 4(개구율 52%)는 주염공 직경 5mm, 부염공 직경 2mm, 염공 간격은 1mm로서 이들의 차이점은 Type 1, 2의 경우와 같다.

Photo. 1은 연소기의 부하 즉, 혼합기(C₃H₈-air)의 유량을 변화시킨 경우의 화염 형상으로, 사진은 Type 3 연소기에서 당량비 0.7인 혼합기를 상부로 공급하면서 촬영한 것이다. 부하가 작은 경우(사진, a) 화염길이가 연소기 상, 하단에서 거의 동일한데, 예혼합 화염의 화염길이는 혼합기 유

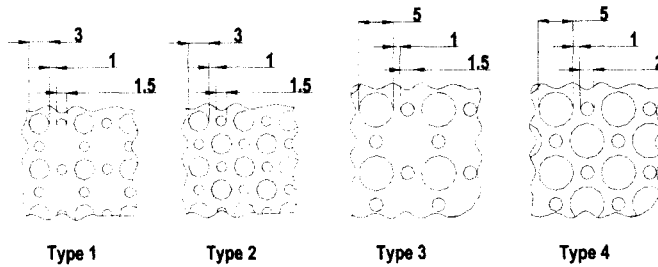


Fig. 7 Four kind of hole arrangement of prototype cylindrical multi-hole burners

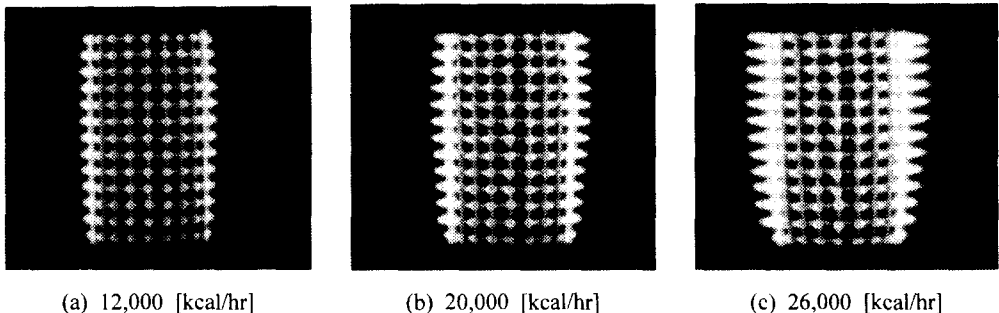


Photo. 1 Show the flame configurations with the variation of inlet C₃H₈-air mixture

량에 거의 비례하기 때문에, 이 결과는 연소기 상, 하단 염공에서 분출되는 혼합기량이 거의 동일함을 의미한다. (a)의 경우보다 혼합기 유량이 더 적어지면, 연소기 하단부 표면이 적열되기 시작하면서, 연소기 표면과 매쉬 사이에 화염이 형성된다. 본 연구에서는 이 때를 원통형 연소기의 하한 연소영역으로 정의하였다. 반면, 고부하 연소시에는 사진 (c)와 같이 연소기 상단의 화염길이 하단보다 매우 길게 나타나 유량분배가 고르지 않음을 알 수 있다(추후 개선하였음). 이 조건 보다 부하를 더 증가시키면, 연소기 최상단에 형성된 화염이 부상하게 된다. 이 때를 원통형 연소기의 상한 연소영역으로 정의하였다. 이 상한과 하한 영역의 내부에 해당하는 화염을 안정 연소영역으로 정의하였으며, 이 경우의 화염 형상은 주염공과 부염공 화염이 모든 연결된 형태이며, 화염 바닥면은 연소기 표면과 약간 떨어져 형성되는 부상 화염의 형태로 안정하게 존재한다.

3.2 시제품 연소기의 안정성 및 공해 성능

Fig. 8은 시제품 원통형 연소기(4종류) 및 대응하는 단위 염공 연소기(Fig. 3, 2종류)의 안정 연소영역을 비교한 것으로, 연료는 프로판의 경우이다. 안정 연소영역은 단위 염공의 경우는 역화 및 blow-off 한계를, 원통형의 경우는 Photo. 1에서 정의한 상한 및 하한 영역을 기준으로 도시하였다. 그림에서, 원통형 연소기의 안정 연소영역은 단위 염공에 비해 희박한 쪽으로 확장되면서, blow-off 한계 유속도 높아지고 있음을 알 수 있다. 그 이유로, 원통형 연소기에서는 이웃하는 화염들의 밑부분이 서로 연결되며, 연소기 표면으로의 열손실량도 상대적으로 작아지기 때문이라 생각된다. 한편, 하한 한계 유속도 TDR 측면에서는 불리하나, 높아지고 있음을 알 수 있다. 그 이유는 앞서 언급한 다공 화염의 특성 때문에 화염 부착점에서의 연소 속도가 증가하여 하한 한계 유속도 높아진다고 할 수 있다. 또 다른 중요한 이유는 상하단 염공에서의 유량분배가 불균일하기 때문에 발생하는 것으로, 하한 연소 한계가 일어나는 하단 염공의 실제 유속은 그림상의 평균 유속보다 낮기 때문이라 생각된다. 이 문제는 유량분배를 개선하여 해결할 필요가 있다. 다음에, 연소기 Type에 따른 안정 연소특성을 살펴

보면, 주염공 5mm인 연소기가 주염공 3mm인 연소기에 비해 안정 연소영역이 넓게 나타나며, 관측에 의하면 화염 바닥면이 연소기 표면과 더 멀리 떨어져 연소기 표면이 덜 과열되기 때문에 실용 연소기로 적합하리라 생각된다. 그리고 주염공 5mm인 연소기는 당량비 0.7 이상이면 TDR이 3 이상이 되기 때문에 비례제어에도 적합하리라 여겨진다.

Fig. 9는 개방 상태(보일러 외부)에서 Type 3 연소기의 부하 및 당량비 변화에 따른 NOx 및 CO (당량비 0.75의 경우만 도시) 배출농도를 도시한 것으로, 실험은 농도 측정시 외부 공기를 차단하기 위해 직경이 큰 원통관 내에서 수행하였으며, 실험값은 O₂ 농도 0% 기준으로 환산한 것이다. NOx 배출경향을 보면, 예혼합 연소기의 일반적인 경향과 유사하게 당량비가 증가할수록,

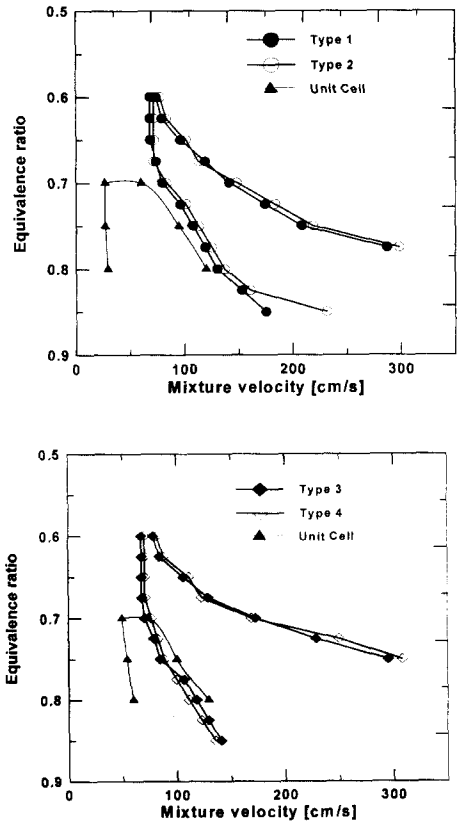


Fig. 8 Stable combustion regions of cylindrical multi-hole and unit cell burner

또 부하가 증가할수록 NOx 농도가 증가함을 알 수 있다. 본 연소기의 NOx 배출 농도는 운전 예정 영역인 당량비 0.75 근방에서 최대 40ppm 정도로 비교적 양호하다고 할 수 있다. CO 배출 경향은 그림에 도시한 당량비 0.75의 경우와 같이 부하 변화에 따른 차이는 거의 없으나, 당량비 증감에 비례적으로 CO 농도도 약간 변화한다. 본 연소기의 CO 배출농도도 0.75 근방에서 최대 30ppm 정도로 매우 양호하다고 할 수 있다. 그러나, 이들 오염물질 농도는 보일러의 최종 형태인 Fig. 1에서와 같이 연소기를 열교환기 내부에 장착한다면, NOx 배출 농도는 화염면 후류에 열교환기가 근접하게 되므로 더욱 저감되리라 생각되며⁽¹¹⁾, CO 배출농도는 고온 가스의 quenching 현상에 의해 다소 증가하리라 예상된다.^(12,13) 이와 같은 열교환기 내부에 장착한 경우의 오염물질 배출특성에 대해서는 제2보에서 상세히 설명하고자 한다.

3.3 최종 연소기의 제원 및 성능

Fig. 10은 보일러 부하 20,000kcal/hr용으로 설계된 최종 연소기의 형상을 나타낸다. 이 최종 연소기는 Type 3의 시제품 연소기를 유량 분배 개선을 위하여 다음과 같이 보완한 것이다. 본 연소기 내부에는 유량분배 및 역화방지를 위하여 메쉬가 삽입되는데, 메쉬의 장수가 많을수록 유량 분배는 균일해지나 상품성을 고려하여 메쉬

장수는 10장으로 한정하였다. 그러나 이 10장만으로는 Photo. 1에서 볼 수 있듯이 연소기 전체 화염구에서 유속을 균일하게 하는 것에 한계가 있기 때문에, 이를 해결하기 위해 연소기 상부에 여유 공간(clearance volume, 화염구가 천공되어 있지 않은 면적)을 이용하는 방안을 고안하여, 그 길이를 5mm에서 30mm까지 늘려 가면서 유량 분배성능을 검토하였다. 그 결과, 여유 공간 길이가 30mm일 때 Photo. 2(당량비 0.7, 부하량 23,000 kcal/hr인 연소조건)와 같이 연소기 상·하부에서의 화염 길이가 거의 균일하게 되었다. 최종 연소기는 이 결과를 바탕으로 시제품 연소기(여유 공간 5mm)를 개선한 것이다. Fig. 11은 위 최종 연소기를 열교환기 내부에 설치한 상태, 즉 실제 보일러의 운전 상태와 동일한 상태에서 LPG와 NG를 연료로 사용하는 경우의 안정 연소영역을

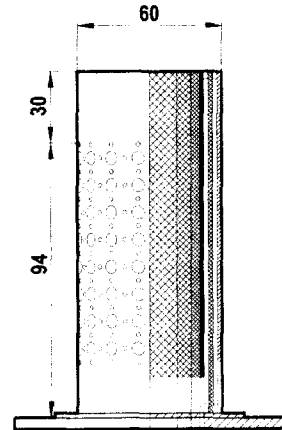


Fig. 10 Schematic of burner

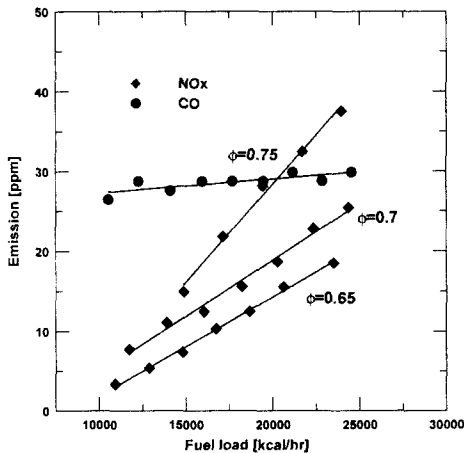


Fig. 9 Shows NOx and CO emission characteristics with the equivalence ratio and loading

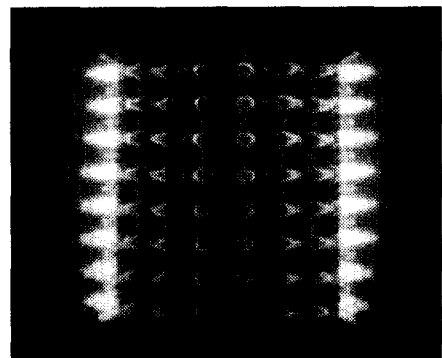


Photo. 2 Photograph of burner flame (phi : 0.7, Fuel load : 23,000kcal/hr)

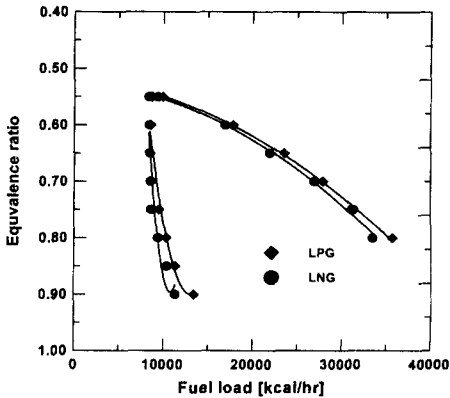


Fig. 11 Stable combustion region for LPG and NG

나타낸 것이다. 보일러에 장착한 경우의 안정 연소영역은 화염 길이의 불균형, 연소기 표면 적열, 연소소음 등을 종합적으로 고려하여 주관적이긴 하지만 충분히 안정하다고 판단되는 영역을 도시한 것으로, 앞에 언급한 개방 상태의 원통형 연소기의 상, 하한 연소영역보다 엄격한 기준이 적용된 것이다. 그림을 보면, 당량비가 증가할수록 안정 연소영역이 넓어져 TDR이 커지나, NOx 배출특성을 고려하면 당량비 0.72 근방(0.7~0.75)에서 연소시키는 것이 적합할 것이라 예상되며, 이 범위에서 TDR이 3 이상이 되기 때문에 비교적 넓은 부하 범위에서 운전이 가능하여 비례 제어에도 적합하다고 할 수 있다. 특히 본 연소방식은 예혼합 연소이기 때문에 공기량에 대한 연료량이 상대적으로 적으므로 연료의 변화에 따른 유속차이는 매우 작기 때문에 연료 변화에 따른 안정 영역의 차이가 거의 없으며, 본 연소기는 LPG, NG 연료에 모두 사용할 수 있을 것으로 판단된다. 이 연소기에 대한 종합적인 성능에 대해서는 제2보에서 논의하고자 한다.

4. 결론

본 연구에서는 응축형 보일러에 사용할 박판 다공 예혼합 연소기의 설계 제원을 결정하기 위해, 평면의 단순 연소기를 이용하여 다공 연소기의 제원(화염구 직경, 배열 및 간격 등)을 검토하였으며, 이를 토대로 제작된 원통형 연소기(부하량 20,000kcal/hr 기준)를 대상으로 안정연소 영역,

NOx 및 CO 배출 특성을 개방 상태에서 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 평면의 단순 모델 연소기를 이용한 실험에서 박판 다공 연소기의 최적 제원(화염구 직경, 배열 및 간격 등)을 결정할 수 있었다.

(2) 본 연구에서 설계한 원통형 연소기의 안정 연소 영역, NOx 및 CO 배출특성을 고려하면 적정 운전 당량비는 0.72 근방(0.7~0.75)이며, 이 조건에서 TDR이 3 이상이 되기 때문에 비례 제어에도 적합하다고 할 수 있다.

(3) 결론 2와 같은 운전 조건에서 NOx 농도는 40ppm, CO 농도는 30ppm(O₂ 0% basis) 이하로, 현재 보일러에 많이 이용되는 분전형 연소기에 비해 매우 양호하다고 할 수 있다.

(4) 본 연소기는 연료에 따른 안정 영역이 차이는 거의 없기 때문에 LPG, NG 연료에 모두 사용할 수 있을 것으로 생각한다.

후 기

본 연구는 산업자원부에서 시행한 에너지자원 기술개발 사업(과제번호 : 96-E-ID02-10)으로 추진되었습니다. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다. 또한 본 연구의 연구원으로 참여한 정오근, 변성근, 유윤석군에게 감사드리며, 보일러개발에 도움을 주신 (주)충인엔지니어링, (주)경진Blower, 덕성ENG 관계자께도 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Harris, J. A. and South, R., 1978, "Flame Stability-Principles and Practice," *Gas Engineering and Management*, 18, p. 153.
- (2) 정종수, 박은성, 1995, "가스보일러용 세미 분전형 버어너의 배기 특성 연구," *공기조화 냉동 공학회논문집*, 7권, 3호, pp. 353~358.
- (3) Warnatz, J., Mass, U. and Dibble, R. W., 1996, "Combustion-Physical and Chemical Fundamentals, Modelling and Simulation, Experiments, Pollutant Formation," Springer-Verlag.
- (4) Turns, S. R., 1996, *An Introduction to Combustion*, McGraw-Hill.
- (5) Vaillant사, 1999, "Manual 및 기술자료."
- (6) Acotec사, 1999, "Manual 및 기술자료."

- (7) 에너지관리공단, 1997, "고효율 가스보일러 개발 사례," 에너지관리, 258호.
- (8) 일본기계학회, 1995, "JSME Combustion Handbook," pp. 149~150.
- (9) James F. Driscoll, Ruey-Hung Chen and Young Bin Yoon, 1992, "Nitric Oxide Levels of Turbulent Jet Diffusion Flames : Effect of Residence Time and Damkohler Number," *Combustion and Flame*, Vol. 88, pp. 37~49.
- (10) 박병식, 표영덕, 홍재상, 김혁주, 김종진, 박인석, 1994, "표면연소 버너와 세미분젠 버너의 화염특성에 관한 비교 실험 연구," *Energy R&D* 연구논문집, Vol. 16, No. 4.
- (11) Horie-cho, Matsuyama, 1992, "Reduction of NOx Emission by Combined Arrangement of Burner and Water Tubes," *Proceeding of the 2nd JSME-KSME*, pp. 2-177~2-180.
- (12) Bowman, C. T., 1975, "Kinetics of Pollutant Formation and Destruction Combustion," *Progress in Energy and Combustion Science*, Vol. 1, pp. 33~45.
- (13) 에너지기술연구소, 1999, "가정용 진공식 가스보일러 설계기술개발 연구," 산업자원부 보고서.