

응축 가스보일러용 원통형 연소기의 화염 안정성 및 배기 특성

이석희, 정영식*, 금성민**, 이창언***

인하대학교 기계공학과 대학원, 인하공업전문대학 기계과*,

한라대학교 기계공학과**, 인하대학교 기계공학과***

Flame Stability and Emission Characteristics of Can-type Burner
for Condensing Gas Boiler

S.H. Lee, Y.S. Jeong*, S.M. Kum**, C.E. Lee***

Department of Mechanical Eng., Graduate School, Inha University

Department of Mechanical Eng., Inha Technical College*

Department of Mechanical Eng., Halla University**

Department of Mechanical Eng., Inha University***

Abstract: This study was carried out to optimize burner of the condensing gas boiler which can save energy by utilizing the latent heat of combustion gas and reduce pollutants emission. Three reasonable distances between burner and heat exchanger were decided through the experiments of model flat burner. The optimum burner geometry was determined from flame stability, pollutant emission characteristics and applicability to practical boiler system. The boiler designed by this research reaches turn-down ratio 5:1 in the domain of equivalence ratio 0.68~0.85 and thermal efficiency of 98%. Emission of NOx and CO concentration was under 35ppm and 104ppm.

1.서론

현재 국내에서 사용되는 가스 보일러의 대부분은 분젠버너의 상부에 열교환기를 설치하여 열교환기와 버너가 상하로 배치되어 있는 형태이다. 이런 구조에서 응축 열교환을 하게 되면 응축수가 생성되고 낙하하여 화염이 불안정하게 된다. 따라서, 배기가스에 포함된 수증기가 응축되지 않도록 고온의 배기가스를 강제로 배기 시키므로 배기가스중의 잠열을 이용하지 못해 열효율이 낮을 수밖에 없다⁽¹⁾. 또한 분젠버너의 화염은 부분 예혼합 화염으로 완전 예혼합 화염에 비해 화염

길이가 길어 연소 생성물의 고온영역 체류시간이 늘어나 NOx 배출량이 비교적 많아진다⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾.

이와 같은 기존 보일러의 문제점을 개선하기 위하여 선행 연구에서 에너지 절약과 동시에 환경오염을 줄일 수 있는 저 NOx 응축형 가스보일러를 개발하였고, 연소기와 열교환기의 최적화를 위한 연구가 계속 진행되어 왔다.

본 연구는 저 NOx 응축형 가스보일러의 최적화에 대한 연구의 일환으로 운전영역이 보다 넓고 비례제어에 적합한 연소기를 설계하기 위해 연소기의 직경을 변화시키면서 각

각의 연소기별로 화염안정성 및 배기 특성에 관한 실험을 수행하였다.

2. 연소기 및 열교환기 형상

Fig. 1은 본 연구에서 사용한 응축형 가스 보일러의 개략도로서 열교환기 상부에 연소기가 설치되어 있다. Fig. 2는 열교환기의 개략도이다. 연소기 및 열교환기는 원통형이며,

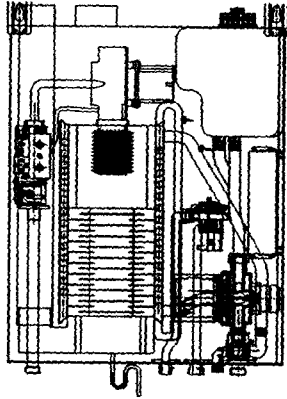


Fig. 1 Schematic of developing boiler

열교환기는 알루미늄으로 압출성형한 편형 열교환기와, 그 외부에 난방수 및 온수 유로를 형성하면서 편형 열교환기를 통하여 전달된 연소열을 난방 혹은 온수에 전달하는 코일형 열교환기로 구성되어 있다.

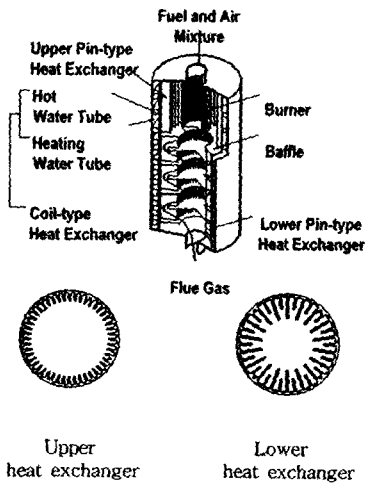


Fig. 2 Schematic of heat exchanger

세부적으로, 편형 열교환기는 연소기 바로 측면에 위치한 핀의 길이가 짧은 상부 열교환기와, 연소가스의 체류 시간을 길게 하여 응축열교환이 이루어지도록 배플이 설치되어 있는 하부 열교환기로 구성되어 있다. 연소기의 연소방식은 화염의 온도가 비교적 낮은 예혼합 방식이며, 짧은 화염면 직후에 열교환기를 설치하여 연소가스의 온도를 더욱 낮춤으로써 NOx 발생량을 현저히 저감시킬 수 있다.

Fig. 3은 원통형 연소기의 개략도이다.

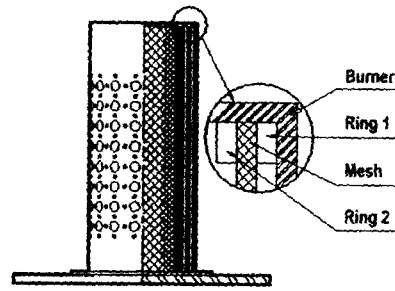


Fig. 3 Schematic of burner

이미 선행 연구에서 직경이 60mm 인 연소기(주염공 5mm, 부염공 2mm, 염공간격 1mm)를 개발한 바 있지만, CO의 배출량이 다소 많았기 때문에 본 연구에서는 CO배출량을 줄이기 위한 방안으로 연소기와 열교환기 사이의 거리에 따른 오염물질 배출특성을 검토하고자 원통형 연소기와 열교환기를 평면으로 모사한 평면 연소기와 열교환기를 제작하여 연소기와 열교환기의 거리를 변화시켜가며 오염물질 배출특성을 검토하였다.

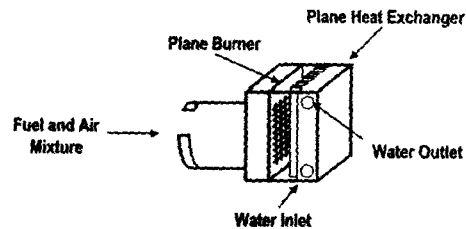


Fig. 4 Schematic of plane burner and heat exchanger

Fig. 4는 평면 연소기와 열교환기를 도시한 것으로 크게 연소기와 열교환기로 구분되며, 평면 열교환기 후면은 냉각수의 흐름방

항이 코일형 열교환기에서의 냉각수 흐름방향과 유사하도록 설계되어있다.

3. 실험결과 및 검토

3-1. 연소기 직경 범위 선정을 위한 검토

본 연구에서는 먼저 연소기의 직경 범위를 선정하기 위해 Fig. 4와 같은 실험장치를 이용하여 연소기표면과 열교환기 사이의 거리를 변화시키면서 NOx와 CO의 배출특성에 대한 실험을 수행하였다.

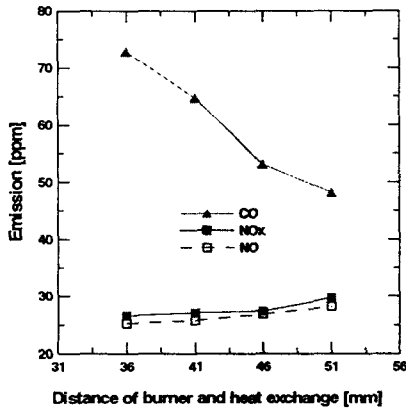


Fig. 5 Emission characteristics with distance

Fig. 5는 당량비 0.8일 때 연소기표면과 열교환기 사이의 거리에 따른 NOx와 CO의 배출량을 나타낸 것으로 연소기 표면과 열교환기 사이의 거리가 가까울수록 NOx 생성량은 약간 감소하는데 이것은 thermal NOx의 발생지역인 화염 후류의 가스 온도가 낮아지고 이로 인해 thermal NOx의 생성량이 감소되기 때문이다. 반면 CO의 배출량은 거리가 가까울수록 급격하게 증가하는데 이것은 화염이 열교환기 표면에서의 냉각효과(Quenching effect)에 의한 영향 때문으로 생각된다. 이 실험을 근거로 현재 41mm인 원통형 연소기와 열교환기의 거리를 포함하여 각각 43.5mm, 46mm로 변화시켰을 때 연소기의 직경은 각각 60mm, 55mm, 50mm이다. 따라서 본 연구에서는 위에 언급한 3종류의 연소기를 제작하여 각각의 연소기에 대해 화염안정성, 당량비와 부하량변화에 따른 배기특성 및 비례제어를 위한 성능실험을 수

행하였다.

3-2. 연소기의 화염안정성 및 당량비별 배기 특성

다공 원통형 연소기에서의 역화 및 날림은 그 한계가 명확하지 않다. 따라서 연소기 표면의 적열 및 고부하일 때 유속이 상대적으로 빠른 연소기 끝단의 불안정한 화염을 근

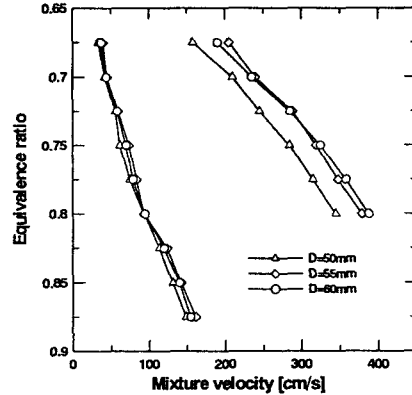


Fig. 6 Flammability of burner

거로 목측에 의해 결정하였다. Fig. 6은 세가지 연소기들에 대한 화염 안정성을 나타낸 것으로 역화한계는 세가지 연소기가 모두 비슷하게 나타났으나 날림은 직경이 제일 작은 50mm의 연소기에서 먼저 일어났음을 알 수 있다.

Fig. 7은 세가지 연소기의 오염물질 중 NOx의 배출량을, Fig. 8은 CO의 배출량을

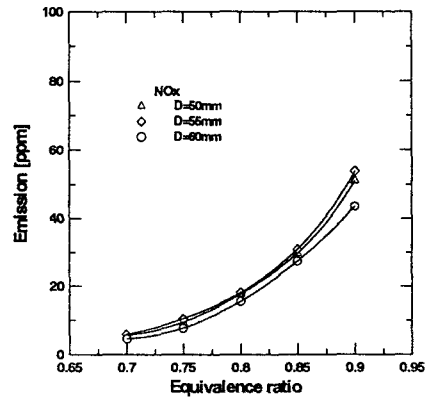


Fig. 7 Emission characteristics with equi. ratio [NOx]

각각 나타내고 있는데, 각 연소기의 염공면적이 일치하지는 않기 때문에 당량비 0.8일 때의 유속이 약 200cm/s가 되는 부하를 기준으로 실험을 수행하였다. 그림에서 보듯이 당량비가 같을 때 연소기 직경변화에 따른 NOx 배출량 차이는 거의 없었으며, 세가지 연소기 모두 당량비가 증가할수록 NOx 배출량은 증가하는데 이것은 NOx의 대부분이 thermal NOx이므로 당량비 증가에 따른 화염온도의 상승 때문이다.

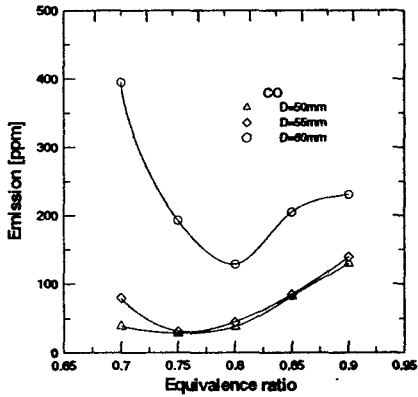


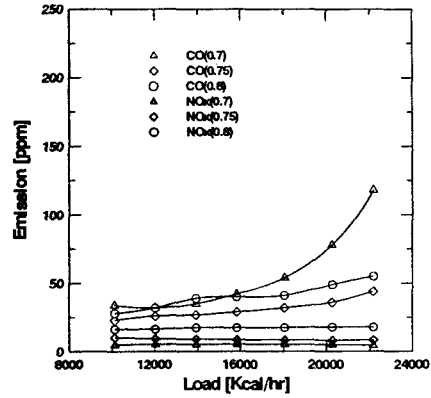
Fig. 8 Emission characteristics with equi. ratio [CO]

CO 배출특성을 살펴보면 세가지 연소기 모두 당량비 약 0.75를 기준으로 당량비가 증가할수록 CO배출량은 많아지는데, 이것은 당량비가 증가할수록 CO를 산화시킬 수 있는 O₂의 유효성이 감소하고 또한 증가하는 온도 때문에 CO₂가 CO로 해리되는 경향이 강해지기 때문이다⁽⁵⁾. 당량비 0.75이하에서 CO가 높게 나타나는 것은 당량비가 낮아지면서 화염의 길이가 길어지고 이로 인해 화염이 열교환기에서의 냉각효과(Quenching effect)에 의해 현저하게 영향을 받기 때문이다.

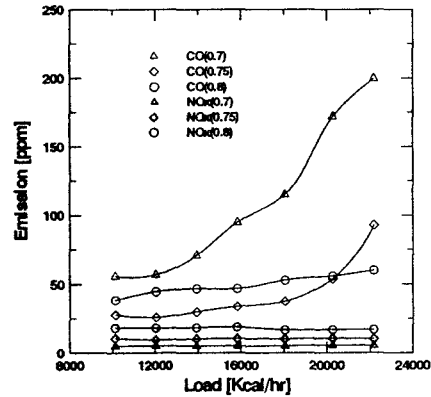
연소기 직경에 따른 CO 배출특성을 살펴보면 연소기 직경이 50mm, 55mm인 경우 동일한 당량비에서 CO의 배출량에는 거의 차이가 없는 반면 60mm인 경우에는 상대적으로 높게 나타하는데 이것은 연소기표면과 열교환기 사이의 거리가 가까워지기 때문으로 생각된다.

3-3. 연소기의 부하별 배기 특성

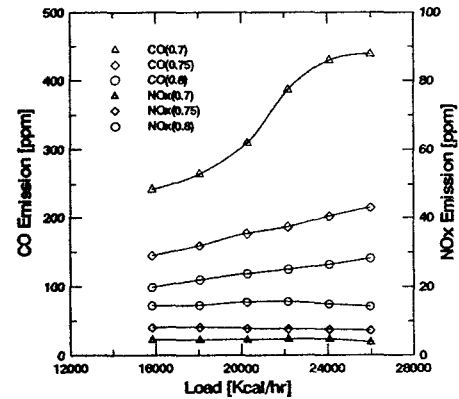
Fig. 9는 당량비 변화에 따른 세가지 연소기의 부하별 배기 특성을 나타낸 것으로 당량비는 Fig. 7과 8에서 NOx 및 CO배출량이



(a) D=50mm



(b) D=55mm



(c) D=60mm

Fig. 9 Emission characteristics with burner loading

비교적 작게 나타난 0.7, 0.75, 0.8을 기준으로 하였다. 각각의 당량비에서 NOx배출량은 세가지 연소기 모두 25ppm 이하로 매우 낮게 나타났으며 CO의 배출량은 연소기 직경이 증가할수록, 부하가 증가할수록 상승한다.

그림에서 직경이 50mm인 연소기에서는 최대부하인 경우에도 CO배출량이 120ppm 이하로 나타났지만, 앞에서 언급했듯이(Fig. 6 참조) 화염 안정성 면에서 불리한 조건을 가지고 있으며 또한 직경이 상대적으로 작기 때문에 더 큰 부하에서 운전하려고 할 때 직경에 비해 연소기의 길이가 지나치게 길어져야 하는 단점 등을 갖고 있다. 이러한 문제점을 고려하여 최종 성능 실험은 직경 55mm의 연소기를 사용하기로 결정하였다. 그리고 CO배출량을 줄이기 위한 방안으로 어느 하나의 동일한 당량비에서의 비례제어 보다는 낮은 부하에서는 낮은 당량비로 높은 부하에서는 높은 당량비로 비례제어를 수행하기로 결정하였다. 이렇게 하면 오염물질 면에서도 만족할 만한 효과를 얻을 뿐만 아니라 화염 안정성의 Turn-down ratio도 상당히 높일 수 있기 때문이다.

3-4. 비례제어 성능시험

Fig. 10은 보일러의 성능을 시험하기 위한 장치의 개략도를 나타낸 것이다. 연료(LNG)는 질량 유량계를 통해 공급되며, 배기가스 온도와 물의 온도는 T-type 열전대로 측정하여 data logger(HP 3852A)로 받아 평균처리 하였다. 보일러의 효율측정은 가스 온수 보일러의 한국산업규격(KS B 8109)을 토대로 측정하였다⁽⁶⁾.

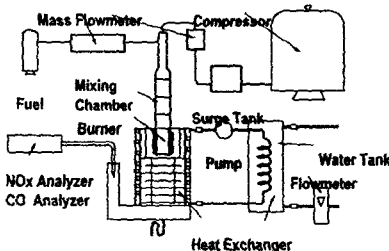


Fig. 10 Schematic of heating water performance system

NOx와 CO는 석영 프리브를 이용하여 채취한 후⁽⁷⁾, gas dryer에서 수분을 제거한 뒤 화학발광법을 이용하는 NOx Analyzer(탄소 converter)와 CO측정기(Kane May co.)로 각각 분석하였다.

Fig. 11은 연소기의 안정성에 대한 범위내에서 비례제어를 실시할 부하량에 따른 당량비를 정하여 6개의 지점으로 나누어 표시한 것으로, Table 1은 각 지점의 상세한 부하량과 당량비를 나타낸다.

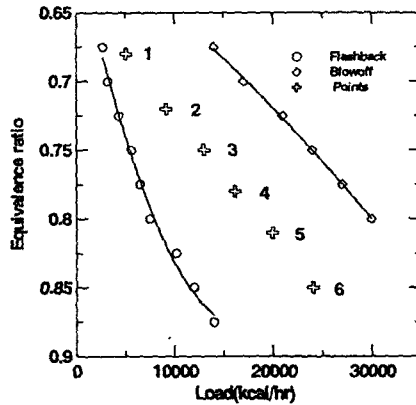


Fig. 11 The points of control

지점	당량비	부하량 (Kcal/hr)
1	0.68	5,068
2	0.72	9,187
3	0.75	12,988
4	0.78	16,156
5	0.81	19,957
6	0.85	24,076

Table 1 Equivalence ratio & load of the points

Fig. 12는 6개의 지점에서 비례제어를 통한 보일러의 종합적인 특성을 나타낸 것으로 부하가 커질수록 효율은 약 100%(저위발열량 기준)에서 95%까지 조금씩 낮아지며 배기가스 온도와 압력손실은 높아진다. NOx배출량은 당량비가 높을수록, 부하가 클수록 증가하는데 이것은 화염면 후류의 연소가스 온도가 높아짐에 따라 고온에서 생성되는 thermal NOx가 많아지기 때문이다. CO의

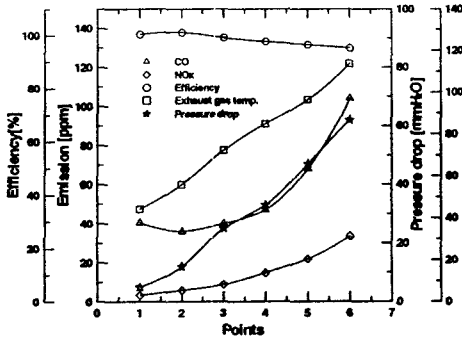


Fig. 12 Total performance of boiler

배출량 역시 같은 경향이 나타나는데 이것은 앞에서 언급했듯이 CO를 산화시키는 O₂의 유효성 감소와 높은 온도에서 CO₂가 CO로 해리되는 경향이 강해지기 때문이다.

특히 본 실험범위 내에서 최고 부하인 약 24,000kcal/hr에서 NO_x와 CO의 배출량은 약 35ppm과 104ppm으로 이것은 환경마크 인증 기준(O₂= 0% basis, NO_x: 50ppm, CO: 100ppm)과 비교할 때 만족할만한 수준으로 여겨진다.

4. 결론

본 연구는 저 NO_x 응축형 가스보일러에 적용될 운전영역이 보다 넓고 비례제어에 적합한 연소기를 설계하기 위해 연소기와 열교환기 사이의 거리를 최적화 하기 위한 평면 연소기 실험을 수행하고, 직경이 각각 50, 55, 60mm인 연소기를 제작하여 각각의 연소기별로 화염안정성과 당량비, 부하량변화에 따른 배기특성 및 비례제어에 관한 실험을 한 결과 직경이 55mm인 연소기가 가장 적합한 것으로 나타났다. 특히 비례제어에 의해 Turn-down ratio가 약 5:1로 크게 나타났으며 실험 범위내에서 NO_x 및 CO배출량이 각각 35ppm, 104ppm 이하로 이것은 환경마크 인증기준을 거의 만족하는 수치이다.

5. 후기

본 연구는 에너지관리공단의 에너지기술시범적용사업의 연구비로 진행되었습니다. 이에 감사드립니다.

6. 참고문헌

- (1) 정중수, 박은성, "가스보일러용 세미 분철편형 버어너의 배기 특성 연구", 공기조화·냉동공학 논문집, 7권, 3호, pp. 353~358, 1995
- (2) J. A. Miller and C. T. Bowman, "Mechanism and Modeling of Nitrogen Chemistry in Combustion", Pro. Energy Combust. Sci, Vol.15, pp. 23, 1989
- (3) J. F. Driscoll et al. "Nitric Oxides Levels of Turbulent Jet Diffusion Flame : Effect of Residence Time and Damkohler Number", Combustion and Flame, Vol.88, pp. 37~49, 1992
- (4) Turns, S. R. "An Introduction to Combustion", McGraw-Hill, 1996
- (5) S. M. Cannon, B. S. Brewster and L. D. Smoot, "Stochastic Modeling of CO and NO in Premixed Methane Combustion", Combustion and Flame, Vol.113, pp. 135~146, 1998
- (6) 한국 산업 규격, "가스온수보일러(KS B 8109)", 1998
- (7) R. M. Fristrom, A. A. Westenberg, "Flame Structure", McGraw-Hill, pp. 177~203, 1965