제23회 KOSCO SYMPOSIUM 논문집 pp. 1~7

100kW용량가스 연소기의 FGR에 의한 NOx발생 특성 연구

김경래*, 김혁주**, 박병식**, 김종진**

NOx Emission Characteristics of 100kW Gas Burner by FGR

K. L. Kim, H. J Kim, B. S. Park and J. J. Kim

Key Words: FGR(배가스 재순환), NOx(질소 산화물), CO(일산화 탄소), Excess air ratio(과잉공기비), Burner(버너), Boiler(보일러)

Abstract

FGR is one of the most widely used methods of NOx reduction in the combustion process. It was investigated the effect of FGR, excess air ratio, peak temperature and firing rate on NOx emission in this study. 100kW burner and LNG were adopted in this experiment.

NOx emission was notably decreased with the increase of FGR, however CO emission was also drastically increased in the 25% FGR. And excess air ratio, peak temperature and firing rate did not affect the NOx emission appreciably in the normal operating condition.

1. 서 론

최근대기오염 물질의 배출규제가 강화되고 있으며 이에 따라 산성비나 광화학 스모그의 주원인이 되는 NOx 제어에 대한 연구가 가속되고 있다.

NOx의 형성은 Thermal NOx, Prompt NOx, Fuel NOx 등과 같이 3가지 반응 Mechanism에 의해 이루어진다. 각 반응 Mechanism의 형성 요인은 온도, 산화 또는 환원분위기 온도하에서 체류시간과 초기 연소시 난류유동 특성등 3가지 원인에 의해서 이루어진다.

저NOx를 위한 방법은 크게 저질소 연료

* 충남대학교 대학원 기계공학과
** 한국에너지 기술연구원

를 사용하는 방법과 공연비, 체류시간, 연소온도, 재연소, 다단계연소, 배기가스 재순환연소등 연소조건과 방법 및 버너의 개선, 배연 탈질등으로 나눌 수 있으며 이중 배가스 재순환 연소(F.G.R)은 다른 연소 방법과 병행할 수 있는 장점이 있어 기존의 시설을 개조하여 사용할 수 있다.

배가스 재순환연소란 연소로내의 연소영역에 배가스를 재 순환시킴으로써 로내의 가스유량증가에 따른 열용량 증가에 의해 로내 온도를 낮추고 연소영역의 산소를 희석시켜 NOx생성을 억제하는 방법이다. 배가스의 일부를 연소용 공기에 혼합시킴으로서 연료와 산소의 급격한 혼합을 억제시켜 완만한 연소를 시킴과 동시에 가스유량증대로 인하여 불활성가스의 흡수열량도 증가하기 때문에 전체적으로 화염의 국부최고온도와 화염의 평균온도를 저하시켜 Thermal NOx 저감[2]에 큰 효과가 있다. 이와 같은 배가스 재순환에 의한 NOx 저감법은 40~80%의 NOx저감효과가 얻을 수 있다.

배가스 재순환장치의 재순환율을 표시하기 위한 방법에는 몇 가지 방법이 있지만, 일반적으로 공기량에 대한 배가스 순환량의 체적비(%)를 배가스 재순환량이라한다. 본 실험에서는 O_2 농도(%)기준으로 재순환율을 표시하였으며 공식은 아래와 같다.

$$FGR[\%] = \frac{21 - \text{입구측} O_2\text{농도}}{\text{입구측} O_2\text{농도} - \text{배가스} O_2\text{농도}} \times 100$$

따라서 본 연구에서는 FGR에 의한 연소기의 NOx발생 특성을 알아보았다.

를

2. 실험장치 및 방법

Fig.1은 본 연구를 위해서 제작한 실험장치의 개략도 이다. 장치는 크게 5개 부분으로 나눌 수 있다. 우선 시험용 보일러를 들 수 있으며, 버너의 연료 및

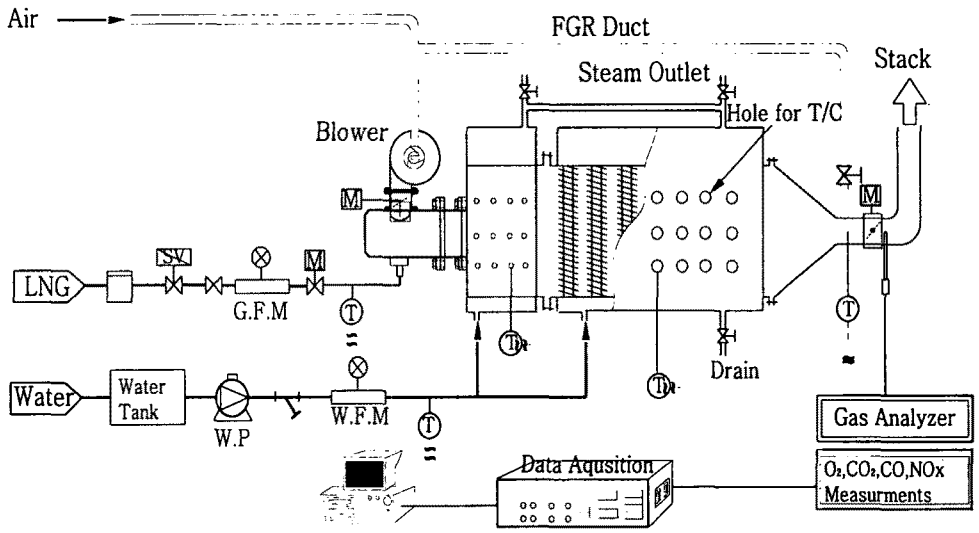


Fig. 1 schematic of experimental apparatus

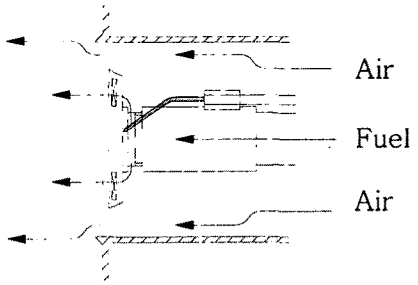
공급계통, 열교환기의 급수 및 배수 계통, 배가스 성분 분석장치 등을 들 수 있다.

본 실험에서는 연료로 도시가스인 LNG를 사용하였다. 가스공급계통은 가스는 직경25mm관에 1차 압력 3000mmH_2O로 공급되고 적산 유량계를 거쳐서 수동 볼 밸브를 통해서 실험장치로 공급된다. 가스유량을 측정 및 조절하기 위하여 안전차단 솔레노이드 밸브이후에 가스 유량계를 설치하여 가스 사용 유량을 측정하도록 하였다. 연소용 공기는 터보 송풍기(Turbo Blower)를 이용하여 공급하였다. 송풍기의 흡입 측에는 송풍기로 공급되는 공기량과 배가스 재순환을 적정하게 조절할 수 있도록 수동형 흡입 댐퍼를 설치하고, 배가스재순환 덕트는 송풍기의 측벽에 설치하였으며, 공기 및 흡입된 배가스가 송풍기를 지나는 동안 잘 혼합되는 구조로 하였다. 연소에 필요한 공기 유량의 조절은 송풍기의 인버터에 의해서 조절되고 인버터는 자동으로 제어할 수 있도록 하였다.

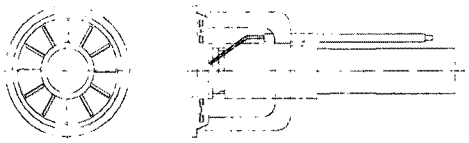
2.1 버너

본 실험에 사용한 버너는 100kW 용량의 상용 LNG버너로서 Fig.2 에 버너헤드의 형상을 나타내었다. 버너헤드는 공기와 연료 공급구, 보염기 및 점화기 등이 설치된다.

화염의 안정을 위한 보염기는 공기 선회용 익을 갖춘 보염판이다.



a) Burner Head



b) Swirler

Fig. 2 Schemetic of experimental Burner Head and swirler

2.2 보일러

버너의 주된 적용 처인 증기제조용 보일러에서 증기를 발생시킬 수 있는 조건하에서 앞서 언급한 실험용 버너의 연소특성을 파악하기 위하여 Lab. Scale의 보일러를 만들었다. 보일러 내부는 연소공간을 갖추고있으며, 연소실 부분과 열전달 수관군의 두 부분으로 조립할 수 있도록 구성하였다. 보일러 전반부에 사각형 물집의 수냉 재킷을 갖는 화염 공간을 조립식으로 설치할 수 있도록 설계하여 여기에 버너를 부착할 수 있게 하였다.

측벽에는 가시 창을 두어 화염현상을 관찰할 수 있도록 하고, 버너는 부착용 플

랜지에 설치하여 쉽게 분리할 수 있도록 하였다.

보일러의 후반부에는 삼각배열로 수관을 설치하고 보일러의 측면에서는 온도측정용 센서를 삽입하여 위치별 온도의 변화를 측정할 수 있도록 설계하였다. 연소열을 받아서 발생하는 증기는 배출구를 통해서 배출되게 하였고, 굴뚝에서는 배기가스의 조성과 최종 배기가스의 온도를 측정할 수 있도록 측정구를 설치하였다.

2.3 실험 방법

배가스 재순환 시스템의 NOx, CO배출특성 파악을 위한 실험은 다음과 같이 실행한다. 우선 NOx, CO 배출특성에 영향을 미치는 중요한 변수는 연소량, 공기비, 버너형상, 재순환률 등이다. 버너 연소량은 최고용량(135kW)이내에서 주로 연료 (Gas)의 양에 의해 결정되며, 화염의 온도, 노내 온도분포에 대해 직접적이 영향을 준다. 열용량 45kW, 60kW, 75kW, 90kW, 105kW, 120kW, 135kW 각 7개의 용량에서 각 인자의 실험을 수행하였으며, 과잉공기비 λ(1.2, 1.3, 1.5, 1.8,)에 대하여 재순환율을 변환시키면서 배출NOx와 CO의 농도를 측정했다.

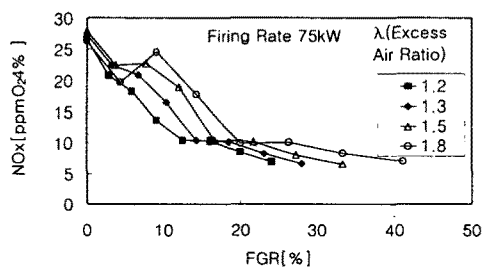
3. 실험결과 및 고찰

본 100kW용량 가스 연소기의 FGR에 의한 NOx발생 특성에 관한 실험 결과는 다음과 같다.

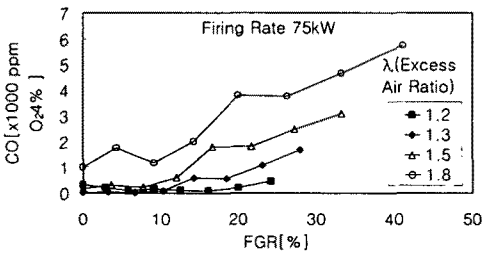
3.1. 재 순환율 변화실험

Fig. 3은 재순환율 변화에 따른 공기비별 NOx와 CO의 발생특성을 나타낸 그래프이다.

Fig. 3 (a)의 경우 재순환율이 증가할수록 NOx의 발생율[4]이 감소함을 알 수 있고, 공기비가 높을수록 NOx의 발생율도 증가함을 알 수 있다. Fig. 3 (b)의 경우 재순환율이 증가함에 따라 CO의 발생은 증가함을 알 수 있었다. 그리고 그림에서 보는 것과 같이 공기비가 1.5 이상인 경우 CO의 량이 급격히 증가함을 알 수 있었다. 특히 공기비 1.8인 경우 CO의 발생이 두드러짐을 알 수 있는데, 이는 재순환량의 증가에 의한 화염의 불안정성으로[2] 미연분의 증가 때문인 것으로 볼수 있을 것 같다. 그리고 재순환율의 증가로 인한 로내 가스의 유속이 증가하여 화염형성의 위치가 이동되어 소음 및 진동을 유발하였다.



a) NOx



b) CO

Fig. 3 Variation of NOx and CO with FGR for Excess Air Ratio

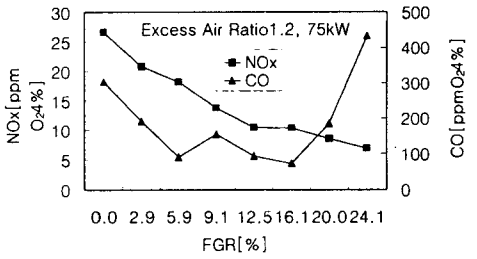
3.2. 재 순환율, 공기비 변화실험

Fig. 4는 재순환량과 공기비에 따른 NOx,와 CO의 발생특성을 비교한 그래프이다. Fig. 4 (a)는 재순환율이 증가함에 따라 NOx는 감소하는 반면, CO는 감소 후 재순환율이 20%이상 되면 급격히 증가함을 알 수 있다. Fig. 4 (b)는 공기비의 증가에 의한 NOx, CO의 발생특성을 나타낸 그래프이며, NOx의 발생율은 공기비가 증가하여도 감소하지 않았다. CO에 있어 공기비가 1.5이상인 경우 급격히 발생함을 알 수 있었다.

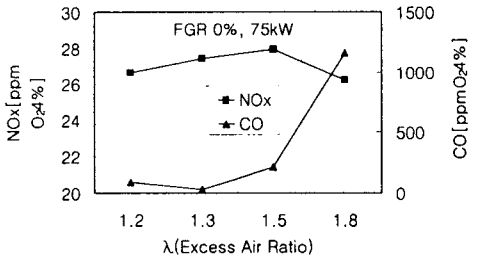
그림에서 볼 수 있듯이 NOx와 CO를 동시에 만족시키는 최적의 연소범위는 재순환량이 6~20%이고 공기비는 1.2~1.5임을 알 수 있었다. 그리고, 본 실험용 보일러의 연소실내 형상이 버너에서 수관까지 거리가 충분하지 않아서 화염이 수관에 충돌하여 냉각됨에 따라서, CO의 생성을 촉진하였을 가능성도 배제 할 수 없다.

3.3. 공기비 변화실험

Fig. 5는 공기비에 따른 입구측 O_2 농도별 NOx 및 CO의 배출특성을 나타낸 그래프이다. Fig. 5 (a)는 공기비에 따른 입구측 O_2의 농도 변화에 의한 NOx의 배출특성을 나타낸 그래프로 입구측의 O_2농도의 감소(재순환량의 증가)는 NOx의 발생율을 억제함을 알 수 있었고, 통상적으로 알고 있는 점과 다르게 공기비가 증가하여도 NOx의 발생율은 감소하지 않았다. Fig. 5 (b)는 입구측의 O_2의 농도가 감소함에 따라 CO의 발생이 증가함을 나타낸다.

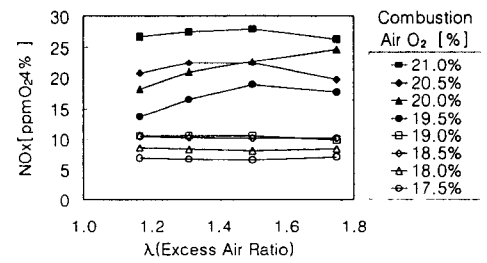


a) NOx and CO

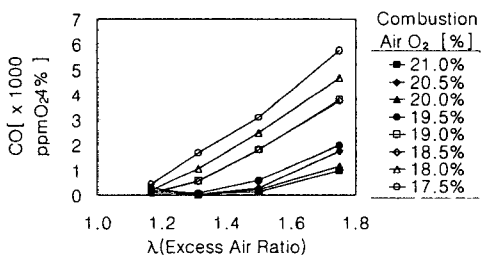


b) NOx and CO

Fig. 4 Variation of NOx and CO on FGR and Excess Air Ratio



a) NOx

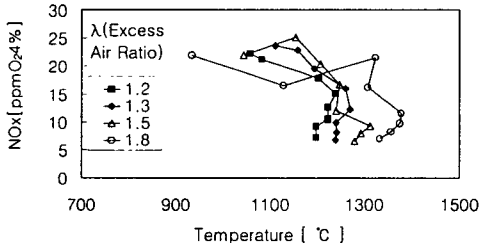


b) CO

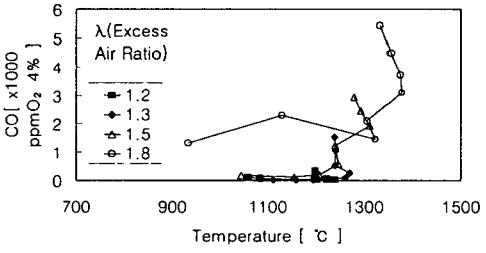
Fig. 5 Variation of NOx and CO with Excess Air Ratio for Combustion Air

3.4 온도변화실험

Fig. 6는 온도변화에 따른 공기비별 NOx 및 CO의 배출특성을 나타낸 그래프이다. Fig. 6 (a)는 NOx의 발생특성을 나타낸 그래프로 통상 연소 온도 증가는 Thermal NOx의 증가로, NOx량이 증가함을 나타내지만, 본 실험에서는 발견할 수 없었다. Fig. 6 (b)는 CO의 발생특성을 나타낸 그래프로 CO의 발생은 공기비의 증가에 따라 CO의 발생율도 증가함을 알 수 있다.



a) NOx

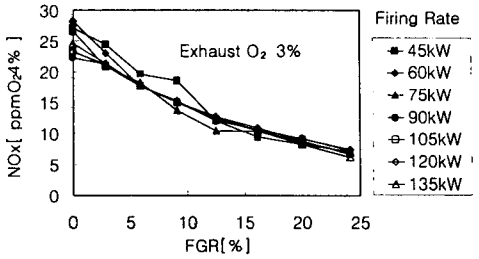


a) CO

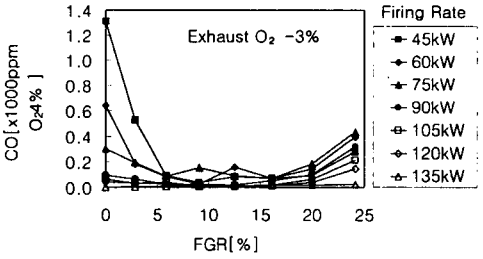
Fig. 6 Variation of NOx and CO on Peak Temperature for Excess Air Ratio

3.5 연소량 변화실험

Fig. 7은 재순환율 변화에 따른 부하별 NOx와 CO의 발생특성을 나타낸 그래프이다. (a)는 NOx의 발생특성을 나타낸



a) NOx



b) CO

Fig. 7 Variation of NOx and CO with FGR for Firing Rate

그래프이며, 연소량에 따른 NOx의 변화는 크지않다. (b)의 CO 발생특성은 FGR율 5~20%범위에서 연소량에 따른 CO의 배출 변화는 그다지 크지 않았다.

4. 결 론

100kW용량 상용가스 연소기의 FGR에 의한 NOx발생 특성 연구에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 재순환율은 NOx의 발생에 미치는 영향이 크고, 재순환율이 증가함에 따라 NOx의 발생율이 최대 70%까지 감소하였다.

2) 재순환율의 증가는 NOx의 발생억제의 효과는 있지만, 재순환율이 20%이상인 조건에서는 CO발생율이 급격히 증가하였다.

3) 과잉공기비의 증가는 NOx 발생율

에는 영향을 주지 않는 반면, 과잉공기비가 1.5이상인 경우 CO의 발생율은 급격히 증가하였는데 이는 화염의 냉각과 연소실의 구조에 원인이 있다고 판단된다.

4) 본 상용버너의 최대온도 변화에 따른 NOx 배출 특성은 특정한 경향을 갖지 않았다.

5) 연소량의 변화는 NOx와 CO의 발생에 크게 영향을 주지 않음을 알 수 있었다

참고문헌

(1) 에너지기술연구소, 2000,"연소가스 재순환 저NOx 연소기술 개발"

(2) Joao Baltasar, Maria G. Carvalho, Pedro Colho, Mario Costa, Flue Gas recirculation in a gas-fired laboratory furnace : measurements and modeling. Fuel, 1997, Volume 76, Number 10, pp919~929

(3) Stephen R. Turn, "An Introduction to combustion", pp544~560