

오일이용 고온공기 연소시 NOx 저감기술

양제복*, 김원배*

An Experimental Study on NOx Emission under the High Temperature Air Combustion with Oil

J .B. Yang and W. B. Kim

ABSTRACT

It's well known that with the increase of preheated air temperature NOx is increasing ,while the energy consumption is decreasing. In this study the experimental study was carried out to find out a new method breaking the above-mentioned old concept. From the variation of configuration of gas nozzle and hot test on the temperature distribution and NOx, it was found out that the reduction of NOx was due to the effect of internal gas recirculation, which will be caused by air emitting velocity from burner nozzle.

Key Words : high temperature air combustion, NOx, fuel direct injection, internal gas recirculation, gas nozzle

1. 서 론

에너지 다소비 열 설비인 공업로는 국내에는 공업화된 지역을 중심으로 약 5,000기 이상(추정) 설치되어 있으며, 이들 설비의 에너지 소비량은 국가 전체 에너지 사용량의 약 15% 이상을 차지하고 있는데 점진적으로 청정 연료인 가스로 대체되어가고 있으나 아직도 오일을 사용하는 곳이 상당수에 이르고 있는 것이 현실이다. 지금까지의 기존 기술에 의한 에너지절약 기술을 “제 1단계의 에너지절약” 이라고 한다면 지금부터는 “제 2단계의 에너지절약”으로서 에너지절약을 환경보호와 관련하여 생각하여야 한다. 에너지절약을 위해 온도가 높은 예열공기를 이용하면 연료 원단위가 줄어드나 환경배출물 중의 하나인 NOx가 증가하는 것은 일반적으로 잘 알려진 사실이다. 하지만 본 연구에서는 이런 trade-off 관계에 있는 것을 깨버리고 새로운 원리를 적용하여 실험적으로 그 가능성 여부를 판단하는 것이 주요 목적중의 하나로 그 원리 중에

서 일본에서 시도한 바가 있는 연료 직접분사방법(Fuel Direct Injection)을 이용하여 연소기의 노즐변화에 따른 온도분포, NOx 등을 측정하고 그 결과를 분석하였다. 특히 지금까지는 대부분의 연구기관에서 가스연료에 대해서는 실험한 결과가 종종 있으나 오일을 연료로 사용해서는 실험한 바가 없어 연료가 가스가 아닌 오일을 대상으로 실험하였다.

2. NOx 저감 기술 현황

NOx 생성을 억제하기 위한 방법에는 두 가지가 있다. 즉, 연소시 NOx의 생성을 억제하는 1차적인 방법과 생성후 배가스중의 NOx를 제거하는 2차적인 방법이 있다.

1차적인 방법은 설비 투자면에서 경제적이긴 하나, 경우에 따라서는 단독으로 법적 환경규제에 만족하기 어려운 경우도 있다. 한편 2차적인 방법도 배가스중에 유해가스 또는 증기가 함유된 경우에는 1차적인 방법이 더욱 효과적일 수 있는 기술적 애로사항이 있다.

산업체 고온 공업로에서의 에너지절감을 위한 방법으로는 연소용 공기의 예열방법이 있다. 그러나, 공업로 내부의 고온화와 예열 연소용 공기 사용에 따라 NOx의 생성은 증가하게 된다.

* 한국에너지기술연구원

공업로의 내부온도는 약 1,300°C 이상이며, 연소용 공기 예열온도도 600°C 이상 1,200°C 까지 사용하는 경우가 있다. 공업로의 산업체 공정상의 중요성을 인식하여 공업로용 연소기를 사용한 NOx 저감기술은 상당히 연구되어 왔으며, 그 결과 다양한 형태의 저 NOx 연소기가 개발된 것은 사실이다. 산업용 연소기의 공기-연료노즐의 복잡 다양성 때문에 산업용 열설비의 연소화염으로부터 NOx 생성을 단순히 판단할 수 있는 척도는 아직 존재하지 않는다. 단 현재까지의 다양한 형태 및 크기의 연소기에 대한 연소 실험결과 NOx 생성은 공업로의 체적과 열적조건과 밀접한 관계가 있음을 알 수 있으며, 연소기는 적용 공업로에 있어서 NOx 생성에 관한 한 지배적인 역할을 하는 것으로 볼 수 있다. 즉, 임의의 연소기는 자체 고유성능을 갖으며, 부분적인 연소기 구조변경은 경우에 따라서는 NOx 생성에 지대한 영향을 미칠수도 있는 것이다.

NOx 저감을 위한 방법중 배가스 재순환방법은 가장 효과적인 방법으로 인식되고 있는데 여기서 배가스 재순환 방법에는 내부재순환 및 외부 재순환방법이 있다. 외부 재순환방법은 다양한 연소기에 대하여 적용된 바 있고, NOx 저감효과가 상당히 있는 것으로 알려져 있다. 재순환 배가스와 연소용 공기와의 혼합율은 재순환 장치의 성능에 크게 좌우될 수 있으며, 약 15~20%의 배가스 재순환에 대하여 약 70%의 NOx 저감효과가 있는 것으로 보고된 바 있다. 그러나 외부 재순환방법은 배관 구조가 복잡하고 강제로 배가스를 재순환해 주기 위한 동력원이 필요하게 되는 단점이 있고 내부 재순환은 외부 재순환에 비해 그 효과는 떨어지나 별도의 배관이 필요치 않고 고속으로 연소용 공기를 분사시켜 로내에서 재순환이 일어나게 하는 것이므로 로내온도 균일도 면에서 우수한 잇점이 있다. 따라서 금번에 적용하고자 하는 기술도 내부재순환 즉 FDI 연소 방법을 이용한 NOx 저감기술에 관한 것이다.

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치의 구성

오일을 이용한 고온공기하에서의 NOx 배출특성에 대한 연소실험을 하기 위하여 Fig. 1과 같은 실험장치를 설계 제작하였다. 우선 대략적인 실험장치의 사양을 설명하면 다음과 같다.

- (1) 열풍발생로의 크기 : 가로 600mm×세로 600mm×높이 1200mm×벽두께 200mm
- (2) 최고 열풍발생온도 : 1100°C
- (3) 용 량 : 60 kW
- (4) 최대 송풍량 : 50m³/h
- (5) 온도조절방식 : PID Control 방식

- (6) 사용연료 : 백등유 (9200 kcal/m³)
- (7) 연소용량 : 27,000 kcal/h

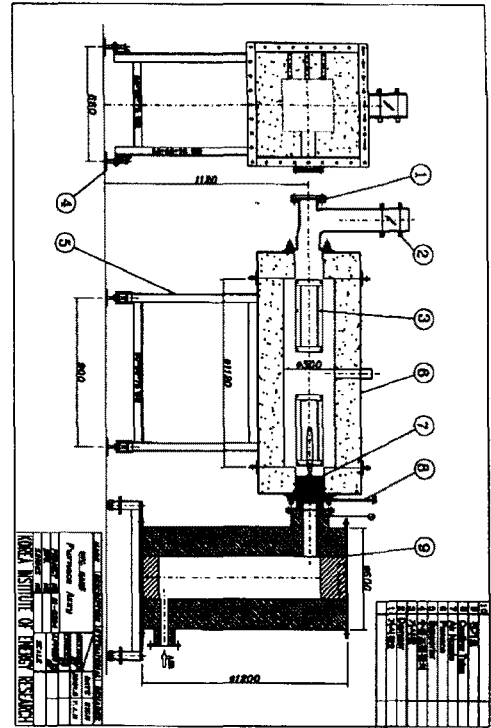


Fig. 1 실험장치구성도

1,100°C의 고온공기를 최고 50m³/h 까지 발생시키기 위한 방법으로는 용량 60kW인 대형 전기로를 3 Zone 형태로 설계 제작하였으며 제작이 간단하며 칸탈선의 시공이 용이하도록 단면의 형상이 원형이 되게 설계하였다. 로체는 외경 600mm의 원통에 두께 200mm의 단열재를 벽면과 밀면에 넣은후 APM 칸탈선을 Fiber Cast로 반 매몰되게 시공하였다. 발생된 열풍 온도가 고온이고 로의 출구 끝에 곧바로 연소 실험노즐이 부착되는 관계로 풍량 계측이 불가능하여 Blower에서 나오는 공기량을 유량계를 통해 계측한 후 계측된 공기가 전기로에 들어가도록 하였다. 로의 상단부 옆면에는 연소용 공기노즐을 연결할 수 있도록 내경 50mm 외경 220mm의 플랜지형으로 제작하여 공기노즐을 쉽게 Blot 체결할 수 있도록 설계하였다.

1번째와 2번째 Zone에는 25kW 용량의 Kanthal wire인 전기 열선을 1개씩 로의 상, 하에 설치하고 출구쪽 3번째 Zone에는 10kW 용량의 것을 설치해서 모두 총 60kW에 달하며 각 Zone별로는 부하에 따라 PID 자동제어가 이루어지도록 하였다. 열풍온도의 측정은 전기로의 각 Zone별로 측정하였으며 기준온도는 출구 끝단인 3번

Zone을 기준 온도로 정하였다.

고온공기 연소 실험장치는 크게 연소용 공기의 분출속도와 분출각도, 그리고 공기 분출구간의 거리변화에 따른 연소특성을 알아보는데 주요성을 두고 실험장치를 설계하였고 실험로의 크기는 내부 길이가 1100mm 이고 단면이 300mm x 300mm의 직사각형으로 설계제작 하였다. 실험로의 앞부분에는 300x120mm 크기의 직사각형모양의 가시창구를 만들어 화염의 관찰 및 사진촬영을 할 수 있도록 하였으며 뒷부분에는 직경 15mm 의 구멍을 일정간격으로 7개씩 3열로 설치하여 열전대 및 수냉 Probe를 삽입해 로내의 온도 및 속도분포를 측정할 수 있도록 하였다. 이러한 열전대 및 압력 Probe의 이송은 Screwball bearing 과 프레임으로 만들어진 2차원 이송장치에 의해 일정간격으로 이송시키며 측정할 수 있도록 하였다. 또한 실험로의 상단에는 직경 50mm 의 구멍을 실험로의 양끝단과 중앙 사이에 일정 간격으로 3개 설치하였고 중앙부분의 구멍에는 Pilot 버너를 설치하여 초기점화시 Pilot 버너의 점화분꽃에 의해 메인 버너가 점화되도록 하였다.

3.2 실험용 버너 및 노즐설계제작

오일고온공기 연소의 특성을 실험하기 위하여 Fig. 2 와 Fig. 3과 같은 형상의 2가지 노즐부체를 설계 제작하였다. Fig. 2는 연료가 중앙에서 분사되고 연소용 공기는 중앙의 연료노즐을 중심으로 주변에서 분사되는 구조로서 공기노즐에 따라 속도변화 Pitch 거리변화, 분출각도 변화의 실험을 수행 할 수 있는 노즐 Body 이다. 이때 연료가 통과하고 끝에 연료노즐을 체결하기 위한 Probe는 노즐 Body의 중앙에 위치하여야 되는데 그대로 두면 최고 1100℃ 의 예열 공기에 의해 Probe 가 가열되어 연료의 Vaper Lock 현상이 일어난다. 이를 방지하기 위해서 Probe를 3중관 형으로 제작하여 중심통로에는 연료가 들어가고

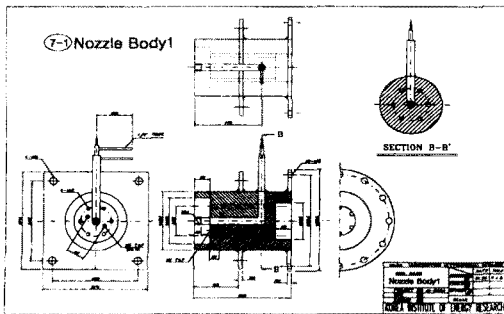


Fig. 2 실험용 노즐몸체(1)

밖의 2군데 통로로는 Cooling Water가 통과하도록 하여 연료의 비등을 방지시켜 주도록 설계하였다. 노즐몸체의 한쪽 끝부분은 열풍발생용 전기로와 볼트로 체결되고 다른 한쪽에는 공기노즐이 들어갈 수 있도록 표면을 매끄럽게 정밀가공 한 후 공기노즐을 넣은 후 볼트로 노즐 몸체와 공기노즐이 서로 밀착 될 수 있도록 고정시키는 구조로 설계하였다.

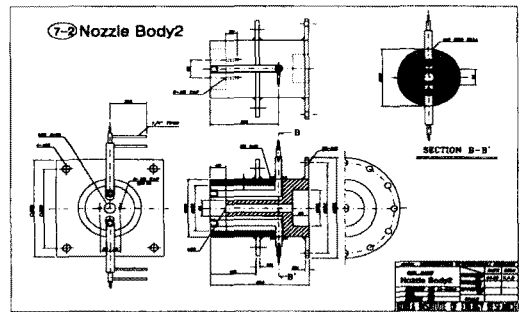


Fig. 3 실험용 노즐몸체(2)

Fig. 3은 연소용 공기가 중앙의 한군데에서 고속으로 분사되고 중앙의 공기분사 구멍을 중심으로 연료노즐을 체결한 수냉 Probe를 일정 거리만큼씩 이송시키면서 실험할 수 있는 노즐Body이다. 이때 공기의 분출 속도는 끝부분에 끼워 넣는 공기노즐의 구멍 크기에 의해 결정되고 연료노즐의 Pitch 변화는 2개의 수냉 Probe를 일정간격으로 이송 시키므로써 결정되게된다. 실험용 공기노즐은 Fig. 4와 같이 총 10개의 노즐을 설계제작 하였는데 연소용 공기의 속도변화

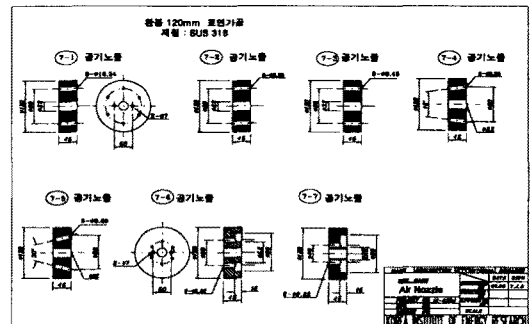


Fig. 4 실험에 사용된 공기노즐의 종류(1)

에 대한 실험으로서는 예열공기의 온도가 1,000℃에서 120m/s, 100m/s, 80m/s가 되도록 공기노즐의 직경을 설계하였고 예열공기의 분출각도 변화에 대해서는 공기의 분출각도가 0°, 15°, 30°가 되도록 설계하였으며 공기분출구의 간격 즉 P.C.D(pitch center diameter)거리변화에 대해

서는 80mm, 60mm, 40mm가 되도록 설계 가공하였다.

위에서 서술한 공기노즐의 설계치들을 종합하여 Table 1에 나타내었다.

Table. 1 Variation of air nozzle

번호	공기노즐 직경(mm)	분사각 도(°)	P.C.D거리 (mm)	비고
# 1	10.34 D*6	0	80 D	연료중앙분사
# 2	9.25 D*6	0	80 D	“(기준)”
# 3	8.45 D*6	0	80 D	“
# 4	9.25 D*6	15	80 D	“
# 5	9.25 D*6	30	80 D	“
# 6	9.25 D*6	0	60 D	“
# 7	9.25 D*6	0	40 D	“
# 8	20.5 D*1	0	중앙	공기중앙분사
# 9	22.5 D*1	0	중앙	“
# 10	25.3 D*1	0	중앙	“

3.3 연소실험

로내직접분사기술(Fuel Direct Injection)이라는 것은 지금까지의 기존 버너와는 달리 연료와 공기가 혼합되는 혼합영역이 노즐주위에 존재하지 않고, 연료를 직접 로내로 분사시켜 연소용공기와 로내에서 혼합되어지도록 설계하는 기술이다. 따라서 고온공기하에서 NO_x의 저감현상을 알아보기 위하여 우선적으로 고온공기의 분출속도와 분출각도, 그리고 공기분출구간의 거리변화에 따라 아래와 같은 순서 및 방법에 따라 연소실험을 수행하였다. 본 연구에서는 FDI 특성을 살려 연료노즐은 버너의 중간에 위치시키고 공기노즐을 연료노즐의 원형형태로 주위에 설치시키는 방법과 반대로 공기가 중앙에서 분사되고 연료가 주위에서 분사되는 두가지 형태를 실험하였다. 연소용 예열공기의 온도를 60°C, 800°C, 1,000°C로 각각 고정시키고 온도가 설정온도에 도달하면 실험로의 상단 앞부분에 부착된 소형 Pilot Burner를 점화시키고 연료를 분사시켜 초기 점화시켰다. 그리고 실험로가 충분히 예열된 다음 Pilot Burner를 끄고 연소용 공기와 연료량을 조절하여 배기가스중의 산소농도를 1.0%에 맞추후 로내의 온도가 일정온도에 이를 때까지 기다린후 각각의 실험을 수행하였다. 연소용공기의 유량계측은 열풍발생로에 들어가기 전의 상온의 공기를 오리피스 유량계를 통하여 계측한후 열풍발생로로 들어가도록 하였다. 또 연료인 오일량의 계측은 소형 연료통을 디지털

저울에 올려놓고 연료펌프의 압력조절기를 조절하면서 펌프 후단에 설치된 압력계의 압력에따라 미리 5분정도씩 그때그때의 유량값을 반복 실험을 통해 확인한 후 압력계의 압력을 맞추는 것으로 유량을 조절하였다. 또한 이렇게 계측된 각각의 유량값은 실제 연소과정중에 실시한 배가스분석을 통한 역산에서도 정확한 계측값임을 증명하였다. 먼저 연소중의 로내 속도분포를 측정하기 위하여 내부를 수냉시킬수 있는 L자형의 수냉 Probe를 제작하였다. 그리고 2차원 이송이 가능하게 설계제작된 이송장치에 고정시키고 실험로의 전면에 설치된 가시창에 관측용 석영판을 뺀 다음 Probe가 들어갈수 있도록 제작된 커버를 통해 로내로 삽입시켜 일정간격으로 수평 이송시키며 측정하였다. 그리고 로내의 온도분포 측정 실험은 실험로의 후면에 7열식 일정간격으로 삽입한 R-Type 열전대를 이송장치에 고정시키고 동시에 일정간격으로 이송시키며 약 2분간격의 시간으로 측정하였다. 또 로내 온도분포를 실험하는 동안 연들의 배기덤퍼 전단에 설치된 배기가스 토출구에서 호스를 연결하여 가스분석기 [Green Line (II) 및 TESTO 측정기]를 통해 배가스 분석을 실시하였다. 연소중 화염의 형태나 모습은 실험 노즐에 따라 다르지만 대부분 거의 볼 수 없었고 상기와 같은 순서에 따라 예열공기의 속도변화에 따른 실험과 마찬가지로 노즐을 서로 바꾸어가며 나머지 분사각도변화 및 P.C.D 거리변화에 따른 실험도 수행하였다. 그리고 노즐Body를 교체한 후 공기중앙분사형 3가지 노즐에 대한 실험을 수행하였다.

4. 결과 및 고찰

앞에서 서술하였듯이 로내직접분사기술에 대한 설계자료를 도출코자, 고온공기의 온도에 따른 연소특성과 특히, 그것과 환경배출물 NO_x와의 관계를 알아보기 위해 다음과 같은 실험을 수행하였다. 실험조건은 연소용공기는 33 Nm³/h, 연료인 오일(백등유)은 3 l/h 이고 공기비는 약 1.05를 유지하였다.

4.1 로내 온도분포

4.1.1. 공기분출속도에 따른 변화

연소용 공기의 온도를 열풍 발생로에서 예열시켜 600°C, 800°C 및 1,000°C로 변화시키고 공기노즐은 #1, #2, #3로 바꿔 가면서, 즉 예열공기의 분사속도에 변화를 주어 그 때의 로내 온도분포를 알아보았다. 측정지점은 공기분출방향으로 노즐출구에서 150, 300, 450, 600, 750,

900, 1050mm 의 위치에 열전대를 삽입하였고 그리고 연료노즐 중심부로부터 로 벽쪽으로 14cm까지 1cm간격으로 이송시키며 온도를 측정하여 그 결과중 하나를 Fig. 6에 나타내었다. 예열공기가 1000°C인 경우 예열공기의 속도는 공기노즐별로 80m/s, 100m/s 그리고 120m/s이 있으며 배가스온도는 약 750~800°C로 측정되었고, Fig. 6에서 보듯이 로내의 최고온도는 공기노즐에서의 공기분출의 직진성이 강하여 거의 비슷하며 약 1350 ~ 1400°C에 달하였다. 노즐간의 로내온도분포상의 차이는 크게 나타나지 않았지만 공기속도가 클수록 온도의 균일성(uniformity)은 양호하게 나타났다. 즉, 공기속도가 80m/s인 경우는 반경방향으로 온도구배가

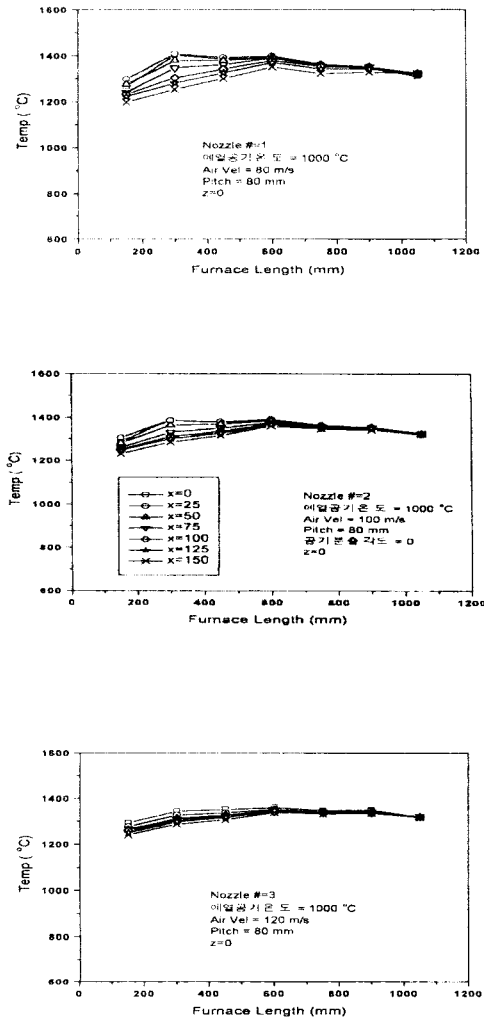


Fig. 6 분사속도별 비교

가장 크게 나타나고 따라서 로내온도 균일성이 있어서는 가장 나쁜 것으로 사료되어 NO_x배출에서도 국부과열(local overheating)현상 또는 로내유동의 재순환이 덜되어 NO_x 생성에도 큰 영향을 미치고 있음을 후술하고 있다. 이것은 공기분출속도가 느릴수록 로내의 체류시간이 길어 최고온도가 속도가 빠른 경우보다 높게 나타나고 있는 반면에 반경방향이나 수평방향으로 온도차는 크게 나타나 속도가 빠른 경우의 온도편차 50°C보다 큰 150°C까지 나타나기도 하였다.

전반적으로 공기분출속도가 빠를수록 로내의 온도 분포상으로는 매우 좋은 결과를 얻을 수가 있다고 볼 수 있다. 기존버너에서 상온공기를 이용하는 경우와의 비교를 위하여 실험한 결과를 Fig. 7에 나타내었다.

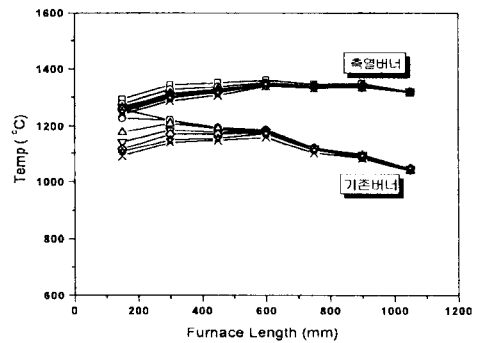


Fig. 7 기존버너와 고온버너와의 비교

그림에서 보듯이 상온공기를 이용하였기 때문에 로내온도가 평균적으로 낮았고 반경방향으로의 온도편차 또한 버너 앞부분에서는 매우 크게 나타났었다. 그리고 로 끝단에서의 온도가 더 낮게 나타났는데 이것은 일반버너의 경우 화염의 분출 속도가 낮아서 그런 것으로 사료된다. 기존버너의 경우 NO_x 발생량 또한 죽열버너와는 달리 낮은 공기비 범위에서 높게 나타났는데 이것 역시 화염의 분출속도가 낮아 국부 가열되기 때문이라고 생각된다.

4.1.2 공기분출각도에 대한 변화

위에서는 공기분출각도를 0°로 하여 실험한 결과를 나타내었고 여기서는 Table. 1에서 보듯이 공기 분출각도를 15° 및 30°로 변화시키고 노즐 구멍크기는 #2와 같은 기하학적인 조건을 이용한 것으로 노즐 # 4, # 5의 로내 온도분포를 알아보고 그 실험결과중의 하나를

Fig. 8에 나타내었다.

그림에서 보듯이 공기분출각도가 클수록 온도 편차가 크게 나타났는데 이것은 노즐의 기하학적인 형상에 기인한 것으로 풀이되며 따라서 온도편차도 후류로 갈수록 적게 나타났다.

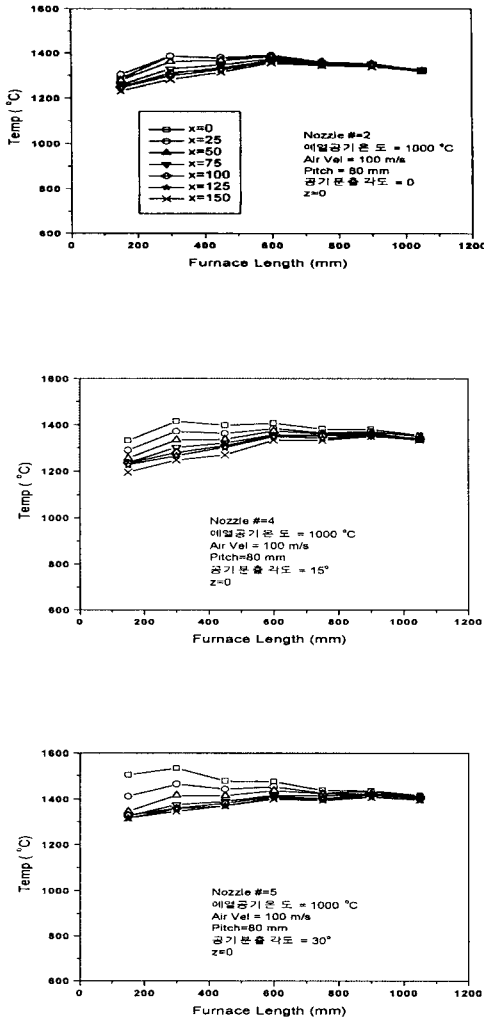


Fig. 8 분사각도별 비교

4.1.3 공기분출구멍간의 간격(PCD: Pitch Center Diameter)에 대한 변화

PCD의 크기를 80mm로 한 경우를 기준으로 하여 공기분출용 노즐의 간격을 40mm, 60mm로 하였을 때, 즉 노즐 # 6, # 7의 변화를 알아보았다. PCD의 크기가 적을수록 가스노즐 중심부에

서 온도편차는 크게 나타났으며 반경방향으로도 점점 많은 편차를 보였다. 또한 예열공기 온도가 높을수록 온도편차는 적게 나타났다. 전체적인 경향은 두 가지 경우 모두 거의 비슷하였다. 따라서 공기분출 노즐간의 간격은 설계치로 알아본다면 버너 폭의 2배정도가 적당하다고 생각된다.

4.1.4 공기 중앙분사 경우의 로내온도분포

공기 중앙분사의 경우 이 때 연료의 공급은 2개의 연료노즐에 대해 각각 다른 펌프를 사용하지 않고 하나의 펌프에서 2군데로 나뉘어 연료가

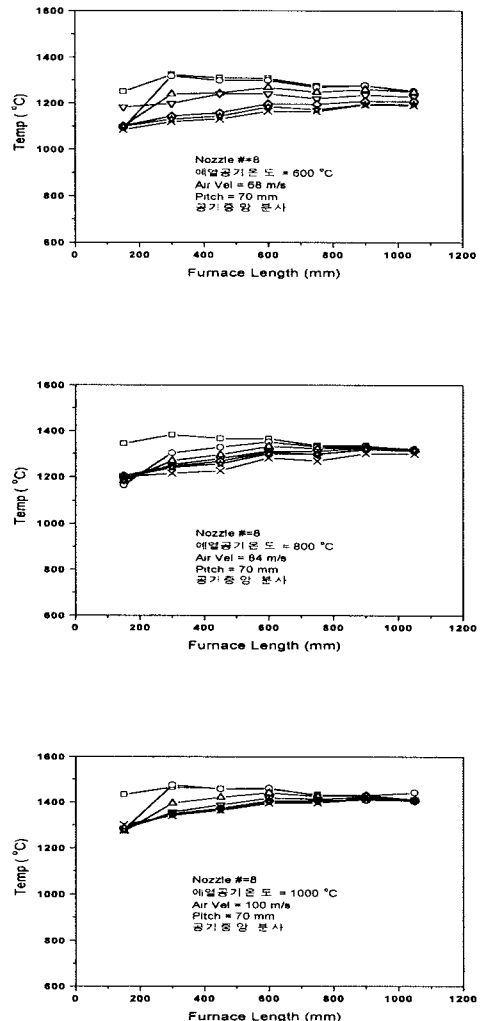


Fig. 9 공기 중앙분사 온도별 비교

공급될 수 있도록 하였다. 이 경우 공기중양분사 형태에 대한 실험은 3개노즐 모두 연소상태가 매우 불량했으며 두개의 연료노즐의 분사거리가 벌어질수록 로 벽쪽으로는 연소용 공기와 접촉이 충분히 이루어지지 못해 검정 Soot 가 발생되기도 하였다. 특히 노즐 앞부분에서의 온도분포는 매우 불균일 하였다.

4.2 배가스 분석결과

여기서는 예열공기온도가 높은데도 불구하고 NOx값을 줄이기 위한 설계방법을 도출하는 것이 목적이기 때문에 공기노즐의 여러 가지 시하학적 변화를 통하여 알아보았으며 그 실험 결과를 Fig. 9에 나타내었다. 그림에서 보듯이 공기분출속도가 빠를수록, 분출각도가 적을수록

그리고 노즐간의 간격이 적당한 간격을 유지할수록 NOx값은 적게 나타났다. 그 이유는 앞에서 서술한 바와 같이 NOx값의 감소는 국부과열영역의 감소에 따른 온도균일성과 배가스 자체 재순환영역의 크기에 기인한다고 볼 수 있다. 또한 연소용 공기를 고온의 예열공기를 사용하여 낮은 공기비임에도 불구하고 대부분의 노즐에서 CO의 발생량은 많지 않았으며 그중 노즐# 1-3까지의 노즐에서 가장 적은 CO 발생량이 측정되었고 분사각도가 가장 큰 #5번의 노즐에서 가장 많은 CO 가 발생하였다.

4.3 로내 압력분포

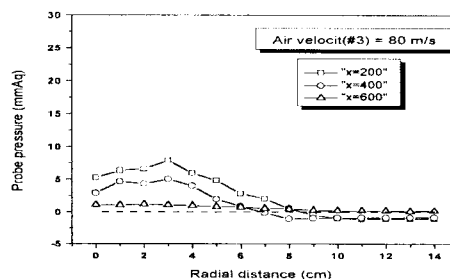
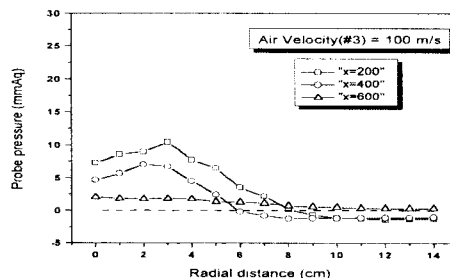
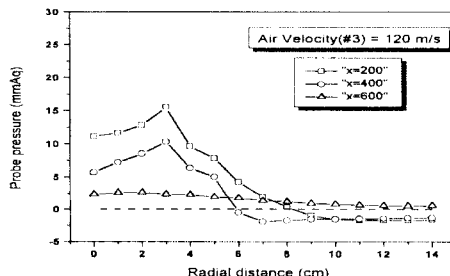
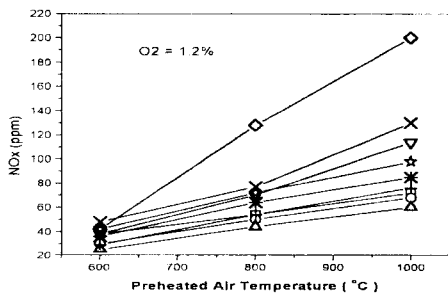
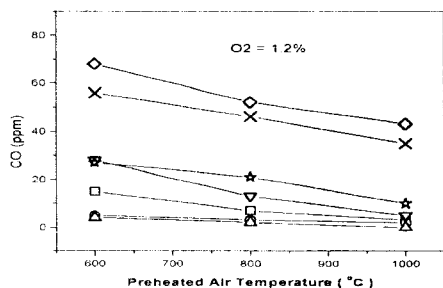
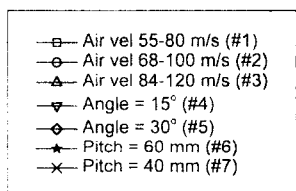


Fig. 9 노즐별 배가스분석

Fig. 10 로내 압력분포도 비교

앞에서는 NO_x의 저감원인을 알아보기 위하여 먼저 로내 온도분포의 균일성을 알아보았고 여기서는 로내 연소가스의 속도나 로내의 압력분포를 통하여 NO_x의 값이 적게 나오는 원인, 즉 배가스의 자체 재순환여부를 알아보았다. 실험 결과에서 노즐 전단부에서는 확연히 압력분포차가 나타나기 시작하여 노즐 끝으로부터 400mm 정도까지는 압력분포차가 분명히 다르게 나타났으나 후단에서는 거의 압력분포차가 나타나지 않았다. 이렇게 측정된 압력분포도 중의 하나를 Fig. 10에 나타내었다.

Fig. 10은 #3번 노즐의 경우에 대해 실험한 결과인데 전체적으로 특별히 분출압력이 높은 곳 없이 중심부에서도 완만한 곡선을 그리고 로 벽면에서도 넓은 범위에 걸쳐 노즐 방향으로 (-) 압력이 생겨 국부 가열되는 곳이 없고 재순환 영역이 넓게 존재해 NO_x 발생량도 가장 적은 것이라 생각된다. 그러나 #5번 노즐의 경우 분사각이 30° 에 달해 공기노즐로부터 분사된 연소용 공기가 한군데로 집중되어 로 중심부에서 매우 높은 압력이 측정되었고 로벽면에서는 반대로 (-) 압력 측정범위가 적어 국부가열이 발생하며 재순환 영역도 적게 존재해 많은 NO_x가 발생하는 것으로 생각되어진다.

5. 결 론

오일을 연료로 사용하여 FDI(Fuel Direct Injection: 로내 직접분사기술) 방법으로 고온공기 연소 시켰을 때 환경친화적인, 특히 저NO_x 연소기술을 알아보는데 그 목적을 두고 실험하였다. 실험적인 결과 공기분출속도가 빠를수록, 분출각도가 적을수록 그리고 노즐간의 간격이 적당한 간격을 유지할수록 NO_x값은 적게 나타났다.

그 이유는 연소현상의 결과로부터

- 국부가열영역의 감소에 따른 온도균일성
- 배가스 자체 재순환영역의 크기에 기인

한다고 생각된다.

참고문헌

- [1] Kircher, U., "Minderung der Staub und Schadgasemissionen bei Glasschmelzöfen", Tagungsband zum HVG-Fortbildungskurs Nürnberg, 15-16 November 1993 and Duisburg, 18-19 November 1993.
- [2] Lehmkuhler, Th., Fritz, H., van Heyden, L. and Vissel, F., BFI-Forschungsbericht, Nr.694 a, Dusseldorf, 1978.
- [3] Flamme, M., Ph.D. Thesis, Ruhr Universität Bochum, Bochum, 1989.
- [4] Tmoecz, J., Gas Wärme International 1993, Vol. 42, pp. 563~570.
- [5] Heap, M. P., Lowes, T. M. and Walmsley, R., 14th Symp (int) on Combustion, The Combustion Institute, Pittsburg, 1973, pp. 883-894.
- [6] Lowes, T. M., Bartelds, H., Heap, M. P. and Walmsley, R., Brennstoff-Wärme- Kraft, 1974, Vol. 26, pp. 26~31.
- [7] Kremer, H., Gas Wärme International, 1986, Vol. 35, pp. 239~246.
- [8] Sayre, A., Lallemt, N., Dugu, J. and Weber, R., 25th Symp (int) on Combustion, The Combustion Institute, Pittsburg, 1994, pp. 235~242.
- [9] Klug, K. H., Kremer, H. and Becker vordersandforth, C. P., Gas Wärme Institute Bericht, Nr. 7750, Essen, 1988.
- [10] Wunning, J. A. and Wunning, J. G., Gas Wärme International, 1992, Vol. 42, pp. 438~447