

compact 축열 버너 개발 연구

동상근* · 이은경* · 양제복*

A Study on the Compact Regenerative Burner Development

Sang Keun Dong, Eun Kyoung Lee and Jae Bok Yang

ABSTRACT

For the compactness of regenerative combustion, self regenerative combustion and embedding regenerator inside furnace are proposed. The Self Regenerative burner system was developed to enhance thermal efficiency and Low Nox emission. In the twin regenerative system, two burner heads are generally used for preheating and exhausting combustion mode. But self regenerative burner system use only single nozzle body for regenerative combustion. Also two kind of regenerator, internal and external type, were designed to operate conveniently in both large and small furnace. According to test result, the self regenerative combustion system gives strong internal exhaust gas recirculation that reduce NOx emission significantly. NOx was measured as 50ppm(5% O₂, 1290C furnace temperature). Also it is found that the fuel saving rate due to the self regenerative burner system reach to 30-40%. Thus it can be concluded that self regenerative mild combustion system appears to provide a reasonable regenerative burner for compactness and high performance as compared with conventional twin regenerative burner system. Also in the RT Application, compact twin regenerative burner was developed with the help of embedding regenerator inside furnace.

Key Words : Regenerative combustion. Low NOx, Burner, High efficient combustion

1. 서론

본 연구는 에너지 효율이 증가하면서도 NOx 저감이 이루어 질 수 있는 즉 고효율과 환경문제에 모두에 장점이 있는 고효율 저공해 compact 축열 연소기 설계 기술 개발을 목표로 한다.

축열 연소는 연료의 자연 착화 온도를 초과하는 고온 공기를 사용하여 공기를 고속으로 분출하여 로 내로 유입하면서 연소시킨다. 이에 따라 화염이 크게, 길게 최종적으로는 무화염이 되는 정도까지 확장 가능하다. 따라서 화염온도의 균

일화를 이루면서 특히 NOx의 저감이 크게 이루어진다. 고온 연소영역이 되면 화염 안정성이 확대되어 화염 보지가 필요 없게 되는 것이다. 최근의 축열 연소시스템은 기존의 축열식 열교환기보다 축열체의 Compact화 및 절환 시간 단축을 노리고 소형의 연소로에 까지도 적용 가능하게 개발되고 있다.

일반적으로 대용량 고온로에는 버너 2대가 1조로 작동되는 축열/재생 연소기가 많이 사용되고 있지만, 연소량이 적은 1000KW 미만일 경우 연소량에 비해 시스템 비용이 지나치게 높아서 TWIN 축열/재생 연소시스템을 적용하는데 있어서 매우 어려운 현실이다. 최근에는 축열 시스템의 COMPACT, SIMPLE, SELF-REGENERATIVE를 목표로 하는 즉 버너 1대에서 축열 연소가 가능한 시스템 개발이 이루어지고 있다. 본연구

* 한국에너지기술연구원, 신연소시스템연구센터

† 연락처자, E-mail : skdong@kier.re.kr

에서는 compact화를 위해 직화식 연소로에 적용을 위해서 자기 축열 버너를 개발하였고 간접가열방식은 RT 버너인 경우 축열체 내장형 축열 RT 버너를 개발 하였다.

본 연구에서 개발된 자기 축열식 저NO_x 연소기의 다음과 같은 특성을 가진다.

(1) 자기 축열 연소기술에 의한 교번식 연소기: 기존의 축열 시스템에서 사용되는 2대의 버너가 1조되는데 비하여 본 연소기는 1대의 버너 헤드에 여러 노즐을 위치하고 연소 배가스 배출 및 연소용 공기 분출구로 교대로 사용함으로써 연소 배가스의 재순환 효과와 더불어 버너 내에서의 열교환이 이루어지는 고효율 연소기이다.

(2) 연소배가스의 재순환 촉진 : 여러 노즐에 의하여 강한 연료 및 공기 분출에 의하여 연소 배가스의 재순환을 촉진 한다.

(3) 무 화염 연소기: 버너 선단부에서의 온도 제어기를 이용하여 버너 선단부에서 온도가 자동 점화 온도 보다 높게 유지되게 함으로써 무화염이 이루어지게 한다. 이에따라 Peak 온도가 감소하여 NO_x 높은 저감율이 얻어지고 무화염이므로 화염안정 조건이 필요 없는 매우 안정된 저NO_x 연소기 인 것이다.

무산화 열처리로에 사용되는 W형 RT 축열버너인 경우 축열체를 RT 내부에 삽입한 compact 축열버너를 개발하였다.

2. 시험 버너 및 성능 시험 설비

2.1 직화식 연소로용 compact 시험버너

Figure 1은 설계/제작된 축열체 내장형 자기 축열버너의 사진이다. 설계시 고려사항으로서는 다음과 같다. 노즐의 갯수를 최대한 줄이고 상하 및 좌우 교번형으로 설계되었다. 배기시 미연 가스가 배출되는 것을 막기 위해 측면에서의 배출구를 확대하였다. 열악한 환경을 가진 공업로에도 적용키 위해 축열체를 내장형 및 외장형으로 두가지 모델에 공히 적용될수 있는 자기 축열 버너 구조이다. 승온시에도 안정된 FDI 연소를 위해 1, 2차 연소용 공기 노즐이 특수하게 제작되었다. 좌우 및 상하 방향으로의 가스 분출 각 조절이 가능한 구조이다. 점화가 용이한 구조로 개선되었다. 저온 상태 일 때도 미연 발생이 어려운 구조로 개선되었다. 저N(O)_x 연소를 위해 연소로 내에서 자기 재순환 구조가 매우 강하게 형성되도록 하였다.

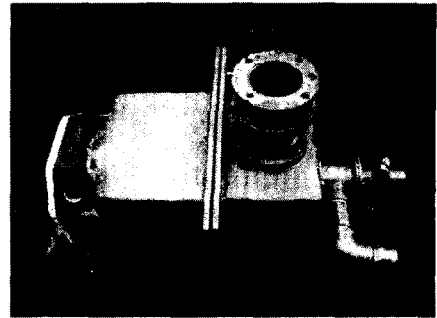


Fig.1 직화식 연소로용 compact 자기 축열버너

Figure 2은 개발품에 대한 열 유동 현상을 보여주는 수치해석 결과를 나타낸다.

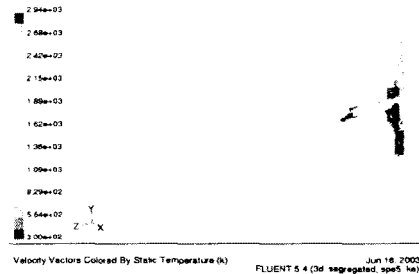


Fig.2 SIMULATION 결과

Figure 2에서 보듯이 연소로 내 전체공간에서 강한 자기 재순환 유동이 일어나고 있으며 아래쪽이 연소 모드이고 위쪽이 배기 모드인 경우이다.

직화식 연소로에 적용/시험을 위해 실제적인 형태인 Figure 3과 같은 단조가열로와 Figure 4과 같은 원통형 실험 연소로 모두를 사용하였다. Figure 3과 같은 단조로에서는 시험버너에 비해 연소로 용량이 커서 분위기 온도 1290℃까지 승온시 많은 시간이 소요되기 때문에 1290℃ 까지 승온시는 Figure 4와 같은 소형 원통실험로를 이용하였다. 단조가열로 사양은 다음과 같다

- 로형식: Batch type
- 수량 : 1 chamber
- 목적 : Ingots 가열
- 가열 용량 : 10 ton/charge
- 유효크기:1,500(W)x1,000(H)x1,500(L) (mm)
- 처리재 장입 온도 : 20
- 최대 온도 : 1,350℃
- 조업 온도 : 1,250℃

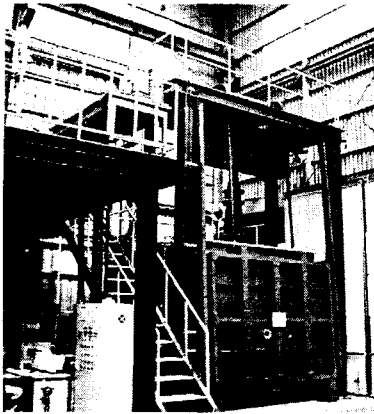


Fig.3 단조 가열로

다음 Figure 4은 축열체 내장형 자기 축열 버너가 실증된 원통 시험로를 나타낸다. 시험로 용량은 최대 40만 Kcal/Hr (5시간 가열시 12500℃ 도달)로 설계 된 것이며, 수냉 자켓이 장착되어 있다. 사진에서 보듯이 좌측에 자기 축열 버너(축열체 내장형)가 장착되어 있다. 연소 용량은 약 12- 14 만 Kcal/Hr 용량으로 운전되었다. 배기 fan은 충분한 크기로 inverter 제어를 통하여 엄밀하게 조정되었다.



Fig.4 원통 시험로

2.2 간접가열식 연소로용 시험버너

간접가열방식은 주로 열처리로나 특수 가열공정에 많이 사용하는 방법이다. 철강 열처리로는 처리물(금속, 비철금속, 요업재료)을 적당한 온도에서 가열, 냉각등의 작업을 통해 재질의 경화, 인성향상, 균질화를 이루는 로이다. 무산화 열처리공정이 이루어지는 강판 소둔용 열처리로에 적용하기 위한 twin 식 compact radiant tube 축열버너를 개발하고 성능 평가를 수행하였다. 시험버너의 특성은 다음과 같다. (1) 축열체 내장형, (2) DISK TYPE 절환밸브를 버너 중간에 평형적으로 위치함, (3) 예열공기와 상온공기 모두사용,

- (4) 2단 연료/2단 공기 분출구조에 의한 고휘염 구조, (5) 반응지연 정도를 제어가능, (6) 연소시와 배기시 절환때 연료가스의 과잉 분출 차단, (7) PILOT 화염의 보염기능 강화.

Figure 5는 실험로에 설치된 compact 축열버너 및 실험로의 도면이다. 축열체는 RT Tube에 완전 삽입된 상태이고 절환 밸브 역시 소형으로 제작되고 공기/연료 유/출입구 부분 사이에 위치되어 매우 compact한 구조로 제작되었다. 실험로는 완전히 밀폐된 로가 아닌 천장부분에 뚜껑을 설치한 구조이다. 따라서 완전한 밀폐 조건은 아니다. 총길이는 약 3m, 폭은 1.3m 정도이고 W형 RADIANT TUBE을 설치하였다. RT(Radiant Tube)는 약1000℃까지 견디는 재질인 인코넬로 제작되었다.

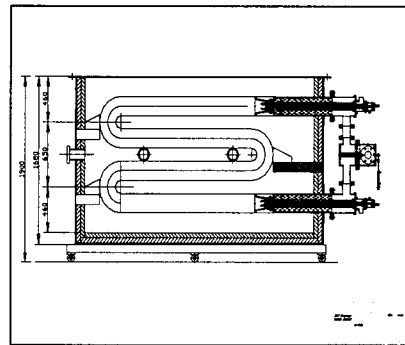


Fig.5 간접가열식 공업로용 compact 축열버너 및 실험로

Figure 6은 FLUENT 이용한 simulation 결과이다. 아래 버너가 연소모드이고 위 버너 쪽은 배기 모드이다. 배기 모드일지라도 위 버너 쪽에서 불 때 pilot flame이 안정되게 연소하고 있음을 예측하고 있다.

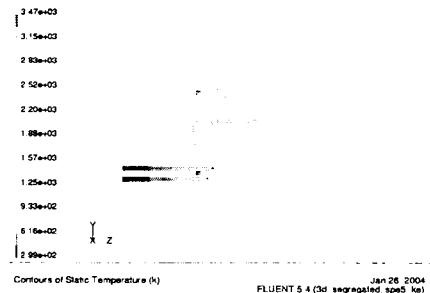


Fig.6 simulation 결과

3. 실험결과 및 고찰

3.1 직화식 연소로에 적용된 결과

3.1.1 실제 단조가열로 적용

가) 온도 특성과 연료 절약률

로내 분위기 온도를 약 1050℃ 까지 승온하였다. 버너 용량에 비해 단조로의 용량이 커서 1050℃- 1280℃ 온도 구간은 소형 실험로에서 실험을 수행하였고 결과는 다음절에 기술된다. 운전 조건으로서는 연소용량이 15000 Kcal/Hr 정도로 가열 했는데 약 900℃ 까지는 1,2차 공기 노즐을 통해 총공기량의 20 - 40 %가 유입되고 900℃이상 일때는 FDI 연소에 의한 재순환 유동이 활발하게 일어나고 또한 고온 공기 연소에 의하여 화염이 안정화된다. 따라서 1,2차 공기량을 전체 공기량의 약 10 % 정도만 유입되게 하였다. 따라서 90%정도의 연소용공기가 축열체를 지나면서 고온화가 되도록 하였다. 자기 축열버너의 관심사는 NOx 저감과 온도특성 및 연료 절약률이다. Figure 7은 로 분위기 온도상승에 따른 배기가스 온도를 보여준다. 로내 온도가 1050℃ 일 때 배가스 온도는 160-170℃ 정도이고 이때 연료 절약률은 약 40% 정도가 해당된다. 900℃ 일때는 배가스 온도 110℃ -120℃ 정도로 약 40% 정도 연료 절약률이 얻어졌다.

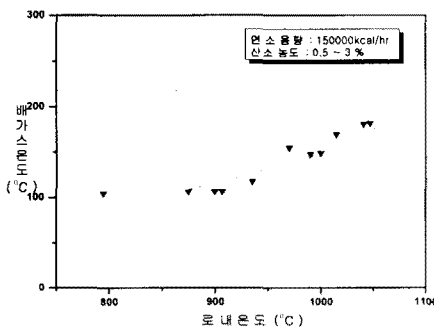


Fig.7 로내온도에 대한 배가스 온도특성

나) NOx 특성

자기 축열 버너는 배가 가스의 흐름이 버너 쪽으로 와서 배기되기 때문에 특히 배가스의 재순환이 매우 강한 특징을 갖고 있다. 따라서 일반적으로 NOx의 생성이 낮음을 예상할 수 있다. Figure 8은 로내온도가 800℃-1050℃ 범위일 때의 배출가스중 NOx 측정치이다. 로내온도

1050℃에서 산소농도 0.5%-1.5% 정도에서 NOx는(환산 없이 당시의 O2%에서의 NOx측정치를 나타냄) 약 20-30ppm 수준으로 매우 낮다. 이는 무화염에 가까운 연소를 이루고 있음을 나타낸다.

로내 온도 980℃ - 1000℃ 일때의 NOx를 O2% 별로 도식한 것이 Figure 9에 나타낸 바와 같다. 배출 산소 농도 0.2% 정도 까지 CO의 배출은 거의 없이 연소 되었다 따라서 산소농도 0.2%일때가 가장 적은 10ppm NOx 수준에서 산소 농도 3.5% 까지 비례 적으로 NOx가 증대 되면서, O2, 4% 까지 약 NOx가 40ppm 수준으로 증대됨을 알 수 있다.

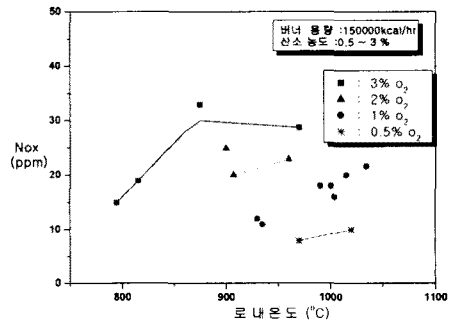


Fig.8 로내온도에 대한 NOx특성

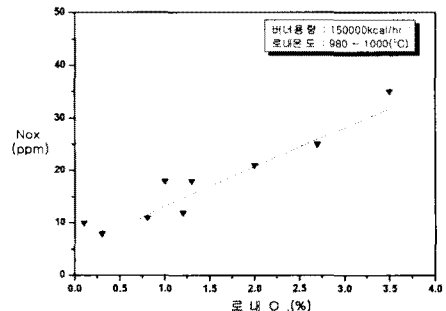


Fig.9 로내O2에 대한 NOx특성

다) escape 율에 따른 연소 특성

자기 축열 버너의 특성은 하나의 버너 몸체에서 연소용 공기의 공급도 하면서 배가스의 배출구로도 이용하는데 있다. 따라서 로 조건에 따라 얼마나 배가스가 탈출(또는 누설) 없이 버너 노즐을 통해 축열체에 에너지를 전달하고 배기되는가에 달려 있다. 이를 평가하기 위해 단조로

천장에 달려 있는 배기 연돌의 damper를 조절하면서 escape율 (배기가스 damper 개도로 표시)에 따른 NOx 배기가스 온도, 로내 온도를 분석하였다. Figure 10은 NOx, Figure 11은 배기가스 온도 측정치이다. 먼저 온도를 보면 escape 율의 증가에 따라 배가스 및 로내 온도의 감소를 보여준다. escape율이 40% 이상일 때는 약 10% 정도의 효율 감소를 나타냄을 알 수 있다. 실제로 damper를 다 막고 있어도 실지로 주위에서 손실되는 양이 10 -20 % 정도 미만 정도만 되어도 본 자기 축열 버너의 효율 감소는 escape율이 0인 경우에 비해 10 % 미만으로 됨을 의미한다. 따라서 로내압 제어가 필요 없이 적용 가능하다고 보여진다. NOx의 경우는 Figure 11에서 보듯이 escape율이 20% 정도일 때 NOx는 10% 정도, escape를 40% 일때는 20% 정도 상승하다가 그 이후에는 급격하게 250% 까지 증가된다. 이는 escape이 40% 이상일 때는 배가스의 자기순환유동이 깨지고 일반적인 버너 화염 연소가 이루어져 급격한 반응대 존이 형성되고 그에 따른 고온 영역이 많아져서(로내 평균온도는 감소함에 불구하고) NOx 의 생성이 많아 졌음을 알 수 있다.

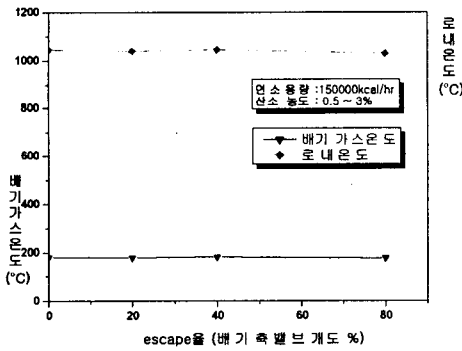


Fig.10 escape율에 대한 온도특성

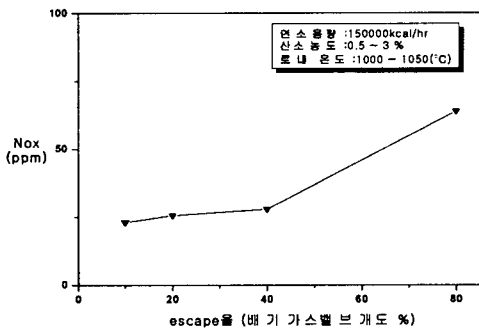


Fig.11 escape율에 대한 NOx특성

바)화염 형상 분석

Figure 12는 분위기 온도 1050℃일 때 무화염 연소를 실현중인 자기 축열 연소 상태를 보여준다. 노즐 선단에서만 일부 화염이 보이는데 이는 중앙부(상온공기는 전체의 10%정도로 중앙부에 위치한 노즐로 공급)에서의 Pilot 화염이다. 이는 주 화염의 안정성 및 보염용으로 만든 pilot화염이다.



Fig.12 무화염 연소중인 축열 연소상태

이때의 분위기는 산소 농도 0.5%, NOx 30ppm 정도인 상태이다.

아래 Figure 13은 연소용 공기를 많이 공급하여 배출 분위기 O2 는 약 5% 정도 일 때 일부 무화염이 깨지고 화염이 보이는 영역이 일부 나타내는 모습을 보여준다.

Figure 14는 단조로 문을 연 상태로써 상당량의 외부 공기가 단조로 문을 통해 주입되고 자기 축열 연소에 의한 재순환 효과가 반감되면서 무화염이 아닌 일반 화염 특성을 갖는 버너 화염 형상이다.



Fig.13 일부 무화염 연소상태

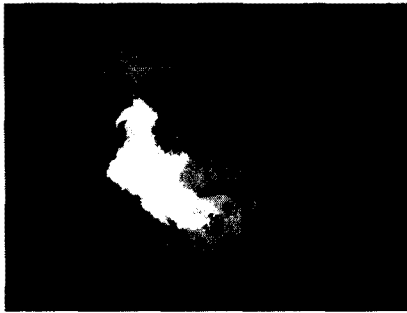


Fig.14 대기중에서 연소중인 일반화염 연소상태

3.1.2 원통 실험로에 적용

가) 온도 특성과 연료 절약률

축열체 내장형 자기 축열버너를 적용하였고 로내 분위기 온도를 약 1290℃ 까지 승온하였다. 단조로에 비해 버너 용량이 적정하여 약 5시간정도 가열하면 1290℃ 까지 승온되었다. 단조로 경우와 마찬가지로 약 1000℃까지는 중앙부의 1,2차 공기 노즐을 통해 총 공기량의 20-30%를 유입되고 1000℃이상 일 때는 전체 공기량의 약 10% 정도만 유입되게 하였다. Figure 15은 로내 분위기 온도 상승에 따른 배기가스 온도를 보여 준다. 로내 온도가 1050℃ 일 때 배기가스 온도는 165℃ 정도이고 이경우에는 연료 절약률은 약 40% 정도에 이른다. 1280℃ 일 때는 배기가스 온도는 170℃ 정도이고, 역시 약 50% 정도 연료 절약률이 얻어졌다. 온도가 1050℃ 일때는 단조로에서 얻은 결과와 유사하였다. 1280℃ 일때는 효율 증가에 따른 연료 절약률이 가장 크다. 따라서 자기 축열버너는 고온로에 적용 할수록 효율적인 면에서 유리한 것으로 보인다.

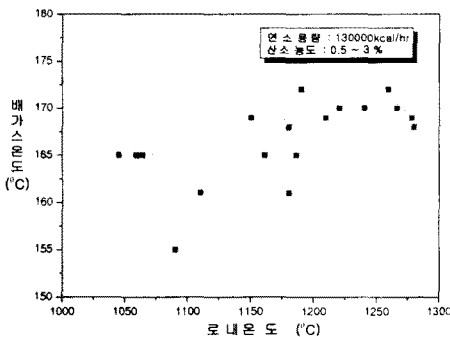


Fig.15 로내온도에 대한 배기가스 온도특성

나) NOx 특성

Figure 16은 로내온도가 1050℃ - 1290℃ 까지의 NOx 측정치이다. 로내 온도 1290℃에서 산소농도가 0.5%-1.0% 정도일 때 NOx의 측정치는 (환산 없이 당시의 O2%에서의 NOx측정치를 나타냄) 약 55-60ppm이고, 1050℃에서는 25-30ppm이다. 보통 가열로에서 운전 온도가 1100℃-1300℃ 이라고 보면 실제 배출 NOx 농도는 이 온도 범위에서 30 - 60 ppm 정도 (1% O2 일 때)로 낮은 수치를 보여 주었다. 단조로에서의 시험 결과와 비교해보면 1050℃-1100℃에서의 NOx는 유사한 값을 보이고 있음을 알 수 있다. 로내 온도 1280℃-1290℃ 일 때의 NOx를 O2 별로 도식한 것이 Figure 17이다.

산소 농도 0.5% 정도까지 CO의 배출은 거의 없이 완전 연소 되었다. 0.5% 산소 농도에서 55ppm 수준으로 NOx가 측정되어졌고 산소 농도 3% 까지 비례 적으로 NOx가 증대 되면서 O2 2.7% 에서 약 77ppm 수준으로 NOx가 증대를 알 수 있다.

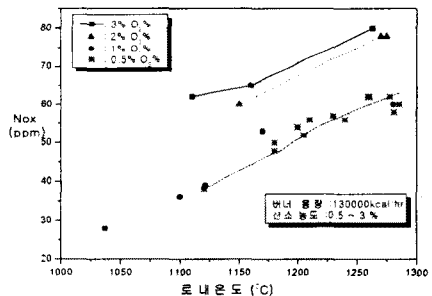


Fig.16 로내온도에 따른 NOx특성

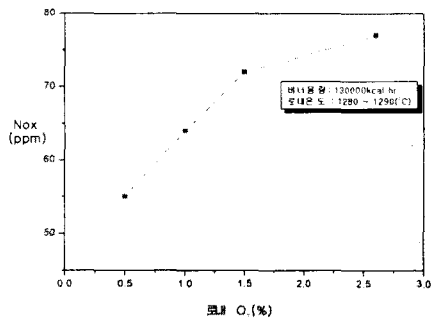


Fig.17 로내O2에 따른 NOx특성

바) 화염 형상 분석

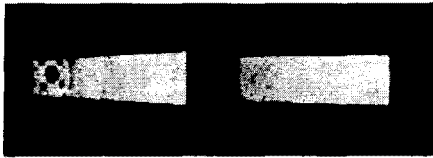


Fig.18 원통시험로에 실험된 자기 축열버너의 무화염 연소상태

Figure 18의 연소 상태는 분위기 온도 1280°C 이고, O₂는 0.2-0.7% 정도이다. 거의 완전 무화염 연소가 실현되고 있고 배가스 유동이 크게 재순환 하면서 버너로 배출되는 유동특성을 보여 주고 있다. NO_x는 58-60 ppm 이고 CO는 거의 없다. 배가스가 누설되는 부분이 없기 때문에 (실험로가 compact한 구조이기 때문) 배기가스가 축열체를 통해 모두 배출된다.

3.2 간접가열식 연소로에 적용된 결과

Figure 19은 간접 가열식 연소로에 적용된 compact RT 축열버너 성능 실험을 통해 연소량에 따른 축열체 온도효율 및 무대척버너와 비교한 시스템 효율의 증대율을 나타낸다.

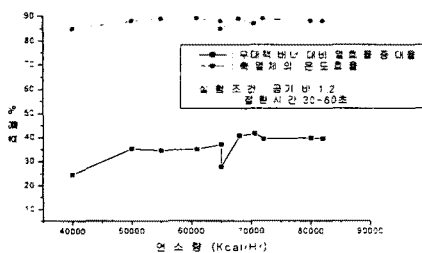


Fig.19 축열체 온도효율 및 무대척버너와 비교한 시스템 효율의 증대율

Figure 19에서 알 수 있듯이 개발된 RT 축열버너는 무대척 버너에 비해 평균 40%의 에너지 절약효과를 보이고 있음을 알 수 있고 연소량의 증대 및 감소시에 효율 증대 변화가 있음을 알 수 있는데 이중 일부는 로내 온도 변화에 대한 UNSTEADY한 특성이 개입한 것으로 봐야한다. 온도 효율은 그 변화가 적고 약 85-89% 정도의 범위에서 안정된 값을 보이고 있다.

Figure 20은 연소량이 75000Kcal/h 으로 3시간

승온후 복사관 표면온도와 버너 head 출구로부터의 거리의 관계를 도시한 것이다. 축열 버너인 경우 표면 온도는 50°C 정도이나 기존의 열교환기 외장형 일반 RT 버너 인 경우 거의 300C 까지 온도편차를 보이고 있다. 물론 장시간 운전하면 그 격차는 좁아지겠지만 RT 축열버너의 온도편차 감소 효과를 잘 보여준다. 온도가 균일할수록 피열물로의 열전달이 균일하게 이루어지기 때문에 축열버너를 도입하면 효과적인 열처리 공정을 수행 할 수 있는 것이다.

Figure 21은 4시간 동안 승온 후 복사관 표면 온도를 버너 head 출구로부터의 거리를 종축으로 하고 도시한 것이다. 기존의 열교환기 외장형 RT 버너 인 경우 거의 200C 까지 감소하였지만

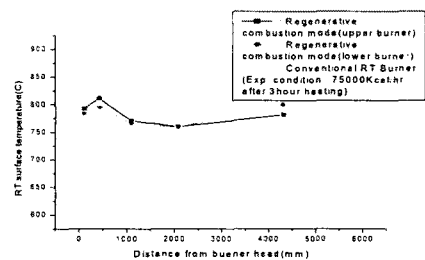


Fig.20 연소량이 75000Kcal/h 으로 3시간 승온후 복사관 표면온도

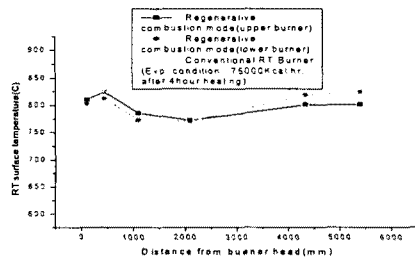


Fig.21 4시간 동안 승온 후 복사관 표면온도

축열 버너와의 격차는 여전히 크다.

연소기내 에서의 NO_x 농도는 Figure 22와 같다. 연소실 내에서 측정된 이유는 절환이 20-60초 범위 내에서 일어나므로 가스 분석 시 연소용 공기 및 배기가스가 자주 변하는 관계로 지속적인 값을 정확히 실측하기가 어렵기 때문에 연소 반응이 거의 끝나는 연소로 내 위치에서 sampling 하는 것이다.

Figure 22 에서 알 수 있듯이 고부하연소가 이루어지는 RT 축열버너에서 NO_x 저감을 위해 연료, 공기 다단연소 및 내부 재순환 유동을 강

하게 유도한 저NOx 노즐이 150 ppm(산소농도 11% 환산치) 이하의 저NOx 연소가 가능하여 규제치가 250ppm임을 비취볼때 실제 산업 적용시 환경문제에 부응하는 성능을 보여주었다.

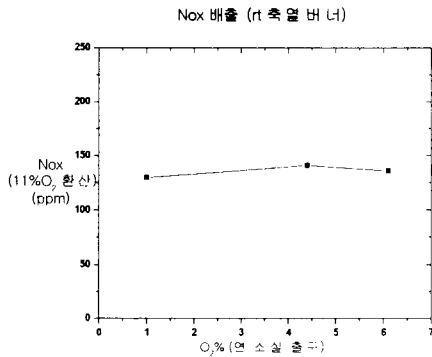


Fig.22 연소실내에서의 NOx

4. 결론

축열버너의 보급을 활성화 하기 위해 compact 축열버너를 개발하였다. 자기축열 연소와 축열체 내장형을 추구하면서 고효율과 환경문제에 모두에 장점이 있는 축열 시스템을 컴팩트화 하였다. 자기축열식은 1대의 버너헤드에 여러 노즐을 위치하고 연소 배가스 배출 및 연소용 공기 분출구로 교대로 사용함으로써 연소 배가스의 재순환 효과와 더불어 버너 내에서의 열교환이 이루어지는 고효율 연소기이다. 로내 온도 1290℃ 까지 실증된 시험에서 배가스의 온도가 170℃ 정도의 낮은 온도를 보임에 따라 연료 절감 효과는 약 40%로 측정 되었다. 또한 무화염의 고온공기 연소를 용이하게 이루어 NOx배출도 매우 성능을 보여 주었다. 로내 온도 최고 1290C 일때에 O₂, 1% 수준에서 약 60ppm(6% O₂ 기준 환산치)는 45ppm)을 보임에 따라 2005년 규제치 예상치인 250ppm(6% O₂ 기준)에 비해 매우 낮은 초저공해 배출 특성을 보여 주었다. 기존의 트윈 방식에 비해 좁은 공간에서도 버너 1대에서 축열 연소가 가능해져 연소기 보급 환경을 매우 높였고, 특히 기존의 트윈식에 비해 승온 과정에서도 안정된 연소 특성을 보였다.

또한 무산화 열처리 공정에 이용되는 compact 축열버너의 설계를 고안하고 twin식 RT 축열 버너를 제작하여 성능 시험을 수행하였다. 열효율로 보서는 일반 무대척 버너에 비해 40% recuperator 외장형 버너에 비하면 15%의 열효율을 증가가 얻어졌다. compact한 twin식 RT 축열

버너 적용시 RT 표면 온도가 균일하여 기존의 일반 RT 버너에 의한 표면온도 편차 보다 매우 적은 온도 편차를 보여주어 열처리 품질 향상이 크게 향상될 수 있다. NOx 배출도 규제치 250ppm 이내에 드는 100-130ppm 정도의 만족한 수준이다.

후 기

본 연구는 산자부의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 동상근 : 저공해 산업용 다단연소기 개발, KIER, 과기부 보고서, 1995
- [2] 동상근 : 산업공정용 연소제어 및 감시시스템 개발, KIER, 산업자원부 보고서, 2000.
- [3] 동상근 : 공업로용 저공해 고효율 연소기 개발, KIER, 산업자원부 보고서, 2002
- [4] 동상근 : 중고온 연소로에 적용되는 compact 축열 버너 개발, KIER, 산업자원부 보고서, 2003.
- [5] 일본 에너지 절약 센터 : 산업 연소기술, 2000.
- [6] S. Yanagami : 축열 연소기술 개발 및 적용, 공업가열, VOL. 37, No.3, 2000..
- [7] Ackermann : Gas Burner for Energy Saving, W.S. GmH, 1997