

환경친화형 연료분할-고속분사식 버너 개발

추재민* · 고영기* · 김종우* · 김철민*

A Development of Environmental-friendly Burner with High Injection Velocity by Multi-staged Fuel-injection

Jae-Min Choo*, Young-Ki Ko*, Jong-Woo Kim*, Cheol-Min Kim*

ABSTRACT

In this study, Development of 300,000kcal/hr high velocity Injection burner with fuel multi-stage was performed using experiments. The characteristics of NOx emission in multi fuel/air staged combustor have been experimentally studied. The design concept of multi fuel/air staged combustor is creation of two separate flame, a primary flame is largest access air combustion and the secondary flame is complete combustion zone, where most of fuel burns. Experiments were performed on an industrial scale in a laboratory furnace and Liquefied Natural Gas(LNG) was used as primary and secondary fuels. Comparison of outlet NOx and outlet Temperature under various air rate and primary/ secondary fuel ratio was performed. The test demonstrated that NOx emission can be reduced by 70% in accordance with operating conditions.

Key Words : Multi-stage, High velocity Injection, Low NOx,

1. 서 론

최근 공업로 및 연소기술의 비약적인 발전에 따라 국내에도 점차 축열연소기술 및 산소부화연소기술등의 신연소기술이 도입 및 개발되어 적용되고 있는 추세이다. 이러한 기술들의 고효율성 및 에너지절감 효과는 이미 해외선진국을 비롯하여 국내에서도 입증되고 있다. 하지만 이러한 기술들은 산업체 적용에 있어 고온연소에 따른 에너지절감효과를 나타내는 반면, 화염온도의 상승으로 인한 NOx의 발생을 증가로 인해 여전히 문제점을 가지는 것으로 나타나있다. 세계적으로 환경오염, 특히 대기오염 억제를 위한 강력한 규제대상을 제정하고 있는 현실에서 대기환경 유해물질의 저감과 친환경적인 연소설비를 지향하기

위해 NOx를 비롯한 유해물질의 발생저감을 목표로 다양한 개선방안이 연구되어 지고 있는 실정이다.

이러한 NOx의 과다발생에 대해 현재까지 개발되고 검증되어 온 개선방안에는 Multi-stage연소, Eccentric injection연소 그리고 High Velocity Injection연소 등이 대표적이며 그 특징은 Table 1로 정리할 수 있다.

현대적인 연소시스템 또는 연소기기는 하나의 연소기술만을 독자적으로 사용하지 않고, 여러 기술을 복합적으로 적용하고 있다. 국내에서도 상기 기술들을 적용한 연소설비가 각종 가열장치 및 제철공정상에 적용되어, 래들가열장치, 턴디쉬 가열장치, 가열로 등에서 사용되고 있다. 현대적인 연소시스템 중 가장 열효율이 높은 축열식 연소 기술은 그 특성상 고온의 공기를 사용하므로, 고속분사 연소기술이 기본적으로 적용된다. 또한 화염의 국부고온역 억제를 위하여 편심분사 방식도 활발히 이루어지고 있다. 특히 가열로의 경우,

* (주)케너텍 기술연구소

† 연락처, jaeminy@kenertec.co.kr

당사의 편심고속분사기술을 적용한 축열식 버너가 적용되어 운전되고 있으며, 상기 기술에 대해서는 국내기술수준이 외국의 기술수준에 비하여 뒤지지 않고 있다.

Table 1. 연소방식에 대한 특징

구 분	특 징
Eccentric injection	<ul style="list-style-type: none"> ● 연료와 공기의 혼합능력을 떨어뜨림 ● 화염온도 저하에 의해 NOx 발생을 억제(당사기술)
High Velocity Injection	<ul style="list-style-type: none"> ● 로내 연소가스의 자기재순환을 촉진 ● 국부적인 산소농도를 떨어뜨려하여 NOx 발생을 제어(당사 축열식버너)
연료다단 연소 (연료분할 공급방식)	<ul style="list-style-type: none"> ● 농담연소를 통해 NOx 저감 ● 연료희박지역과 연료과농지역 형성으로 성층연소 실현 ● 화염의 국부고온역을 방지 ● 버너크기가 작고 Tile제작이 간편 ● 1,2차 연료량 조절이 축열식, 일반식에서 모두 용이
공기다단 연소	<ul style="list-style-type: none"> ● 화염의 국부고온역을 방지 ● 저공기비 연소가 가능하여 NOx 저감효과 ● Tile제작이 어려워 제작비용이 증가 ● 1, 2차 공기량조절이 축열식의 경우에는 곤란

그러나 다단연소(Multi-Stage Combustion)기술에 있어서는, 기술선진국에서 연료다단연소 기술이 보편화되고 있는 반면 국내에서는 아직까지 공기다단연소기술이 적용되고 있는 현실이다. 연료다단연소방식이 공기다단연소방식보다 버너의 구조가 간단하고, 버너타일의 크기가 작으며, 화염조절이 용이하다, 또한 가격면에서도 경쟁력이 있으며, 특히 NOx 저감효과가 뛰어난 점을 감안할 때 연료다단연소기술은 기술적인 면뿐만 아니라 환경적인 면에 입각해서도 반드시 개발 상용화되어야 할 기술임이 분명하다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 고속분사버너 설계조건

본 연구에서 개발된 버너는 고속분사버너의 기술에 연료분할 다단분사 기술을 적용하여 고부하 연소 및 농담연소에 의한 저공기비 공기를 통하여 완전연소와 저공해 연소를 실현하였다. 먼저 버너설계의 조건은 아래 Table 2와 같다. 현재 많이 사용되는 고속화염버너는 1,000,000 ~ 3,000,000 kcal/hr 버너인데 용량을 축소시켜

300,000kcal/hr의 용량으로 연료는 친환경 연료인 LNG를 사용하여 상용화가 가능한 버너를 개발하였다.

Table 2. 버너설계의 조건

총연소용량	300,000 kcal/hr
연료종류	LNG
발열량	9,500 kcal/hr
비중량	0.86 kg/m ³
이론공기량	10.59 Nm ³ /Nm ³
과잉공기비	1.1
연료가스온도	30 ℃
연소용공기온도	30 ℃
연료 MAIN 배관유속	10 m/s
연료배관 설계유속	20 m/s
Air배관 설계유속	15 m/s

2.2 시스템의구성

Fig.1은 실험장치 구성용 P&ID를 나타낸 것이다. 연료라인을 보면 하나의 라인에서 주연소 공급라인과 후연소 공급라인으로 분기되어 공급되고 연소용공기는 fan에서부터 버너로 공급된다. 제어장치와 계장품들은 유기적으로 동작하여 연소를 행하는데 필요한 기계적부분과 전기제어적인 부분으로 구성되며 유량의 확인은 디지털 차압계(Digital Differential Manometer)를 사용한 오리피스유량계(Orificemeter)를 사용하였다.

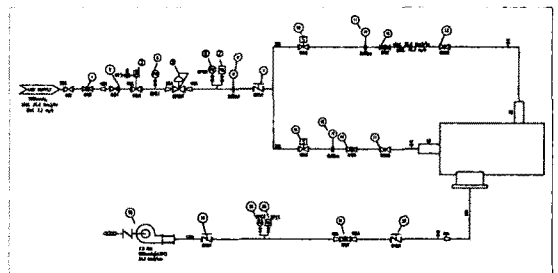


Fig.1시스템 구성

2.3 연료분할 고속분사의 제어방안

Fig.2는 개발 버너의 Body와 타일을 결합한 개략도를 나타낸 것이다. 대부분의 저NOx 버너에 실용화 되어 있는 공기2단 분사형 버너에 연료 2단 분사를 적용시켰다. 또한 공기비의 불안정 및

부하율의 급격한 변화를 위해 당사에서 자체 개발된 축류식 선회기와 보염기로 구성된 Pilot burner를 버너에 장착하여 화염의 안정화를 기하였다. 연소용 공기는 1차 연소층에 70%고정 공급하도록 하였으며 2차 공기는 방사형모양으로 상, 하에서 나머지 공기를 공급하였다. 연료는 1,2차로 나누어 각각 별도로 제어되도록 하여 연료분할비를 바꾸면서 연소특성을 분석할 수 있도록 하였다. 1차 연료는 1차 연소역에서 원주방향으로 수직으로 공급하고 block body에 의한 후류방향으로 circulation을 일으킴으로 혼합영역을 만들었다. 이러한 횡류 분사방법은 축열식 연소에서 나타나는 고온의 열을 회수하기 위해 흡입하는 과정에서 열화에 의한 부식을 방지할 수 있으며 혼합도 촉진시킬 수 있는 장점이 있다. 또한 wind box 후단에 화염감지기를 설치할 수 있는 hole을 만들어 Sight glass를 부착하였다.

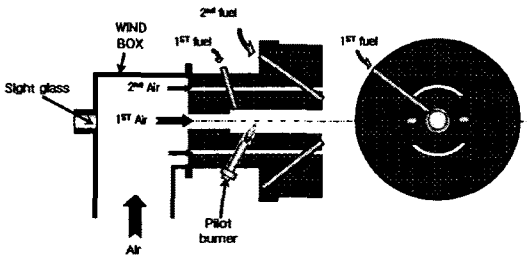


Fig.2 버너의 개략도

2.4 측정장치 및 방법

2.4.1. 로온 측정

Fig.3은 본 실험에 사용한 실험로의 개략도이다. 왼쪽 부분은 버너와의 결합부분을 나타내며 로온 측정은 원으로 표시된 8개의 T/C를 사용하였다. 버너결합부분에서 오른쪽에 3개의 T/C(right 1, right 2, right 3), 좌측에 3개의 T/C(left 1, left 2, left 3)를 사용하여 실험로의 분위기 온도를 측정하였다. 사용된 T/C는 R-Type의 열전대로 고온(약 1600℃)까지 가능하고 기전력 특성의 직선성이 양호하며 비교적 내열, 내식성 높은 것이 특징이다.

실험로의 표면온도에 영향을 받지 않게 하기 위하여 실험로 벽으로부터 50mm 이격하여 보상도선에 의해 Data-logger에 연결하여 로온을 측정하였다. Data-logger는 Keyence제품으로서 16개의 채널을 받아 동시에 처리할 수 있다.

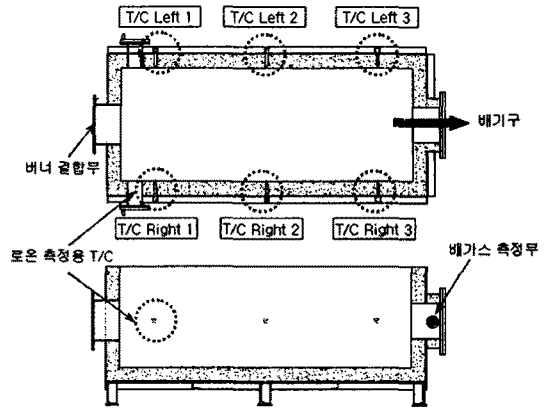


Fig.3 테스트 노에서의 온도 측정위치

2.4.2. 배가스 측정

연소특성에 대한 배가스 발생량을 측정하기 위하여 Telegan사의 Tempest 100 모델로 측정하였으며 최고 800℃에서 CO는 0~10,000ppm 까지 측정할 수 있으며 NOx는 0~1,000ppm까지 측정할 수 있다. 71개의 데이터를 인쇄할 수 있는 프린트 장치를 가지고 있다.

3. 개발버너의 성능시험

3.1 버너의 연소 특성

Fig.4는 개발된 환경친화형 연료분할 고속분사 버너의 연소 과정을 나타낸 것이다. 대부분의 저 NOx 버너에 실용화 되어 있는 공기2단 분사형 버너에 연료 2단 분사를 적용시켰다. 또한 공기비의 불안정 및 부하율의 급격한 변화를 위해 당사에서 자체 개발된 축류식 선회기와 보염기로 구성된 Pilot burner를 버너에 장착하여 화염의 안정화를 기하였다.

연료다단분사법에 의해 초기에 연료를 일부만 공급하여 공기과잉상태에서 연소시키고 후단에서 나머지 연료를 공급시키는 것과 동시에 공기도 초기에는 공급하고 남은 공기를 2단에 공급하여 화염의 안정성을 증대시키고 NOx 생성을 억제시키기 위함이다. 즉 환경친화형 연료분할 고속분사버너는 연료/공기 2단 고속분사식 버너로서 연료 1단에 전체연료의 일부만 공급하고 전체 공기의 70%를 주입하여 고과잉공기비에서 연소시킴으로서 연소온도 저하에 의한 NOx 생성억제를 유도하고 나머지 연료를 2단에서 분사하여 연소를 종결시키는 것이다. 이때 2차 공기에 의해 완전연소를 가능하게 하며 1단의 연소생성물과 혼합됨으로서 산소분압이 낮아져서 NOx 억제가 이루어진다.

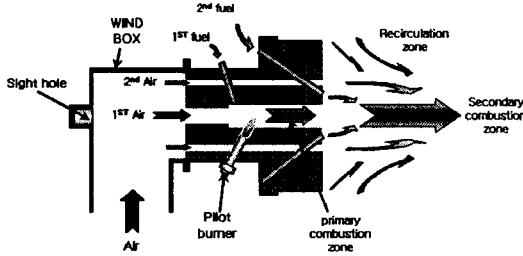


Fig.4 연료분할 고속분사버너의 연소

3.2 연소화염의 안정성

버너화염이 안정화되기 위해서는 가연성 혼합기의 유속과 연소 속도 등의 균형적인 조합이 필요하고, 일반적으로 버너 화염에 있어서 화염의 기저부(基底部)에서는 유속과 연소 속도 등이 같고, 그 외의 부분에서는 유속 쪽이 연소속도 보다 커야 한다. 버너 출구에 대한 속도가 커지면 부착점은 버너로부터 멀어져 결국 블로우오프(blow-off)가 일어나고, 또한 버너출구의 속도가 임의의 값 이하가 되면 역화(flash back)가 일어난다. 버너 출구의 속도가 분출을 일으키는 속도와 역화를 일으키는 속도 사이에 있다면 안정된 화염을 얻을 수 있다. 본 연구에서는 역화의 위험성이 없고 안정 화염 범위가 넓은 연료 및 공기를 분리해서 공급하는 확산화염을 선택하였다. 또한 기존의 연료분할버너 및 고속분사버너의 화염의 안정성이 떨어지는 점을 고려하여 Pilot 버너에 의한 점화를 통하여 화염의 안정성을 증대시켰다.

로내에서는 Turndown 테스트를 통한 화염의 형상을 확인하는 것이 불가능하기 때문에 로 밖에서 테스트를 수행하였다.

Fig.5는 각각의 조건에 대한 화염길이와 화염폭을 나타낸 것이다. Fig.5와 Fig.6은 부하율에 대한 화염길이와 화염폭을 나타낸 것으로 고속분사에 의해 화염길이 1500mm, 화염폭 430mm로 단염이며 부하율에 따라 비례적으로 나타나는 것을 볼 수 있다. 여기서 화염폭은 가장 바깥쪽에 위치한 2차 연소용 공기분사에 의지함으로 각각의 조건에서 부하율에 따라 거의 일정한 화염폭이 나타났다.

Fig.7은 공기비에 대한 화염길이를 나타낸 것으로 공기비 1.2까지는 거의 화염길이의 변화가 없다가 그 이후에 선형적으로 짧아지는 것을 볼 수 있다. Fig.8은 N1-N2의 연료분할비에 의한 화염길이를 나타낸 것으로 N1 100%부하보다 N2 100%부하가 조금 짧아지는 것을 볼 수 있다.

Fig.9은 부하율 변화에 따른 화염의 형상을 나타

낸 것이다. 부하율 10%까지 실화되지 않으며 안정된 화염형상이 나타나고 있다.

Fig.10는 공기비에 다른 화염의 형상을 나타낸 것으로 50%부하에 대한 공기비 2.4의 영역까지 실험을 수행하였다. 화염의 길이가 점점 짧아지는 것을 볼 수 있으며 안정적인 연소가 나타나는 것을 볼 수 있다.

Fig.11은 N1:N2 연료분할비에 대한 화염형상이 다.

위와 같이 부하율, 공기비 및 연료분할비에 의해 각각의 연소실험을 수행하였으며 다양한 조건에서도 최대연소 부하량의 10%인 최소연소 부하시에도 화염의 부상이나 흔들림, 꺼짐 현상이 없는 연소범위를 가지고 있으며 안정된 화염도 관찰할 수 있었다.

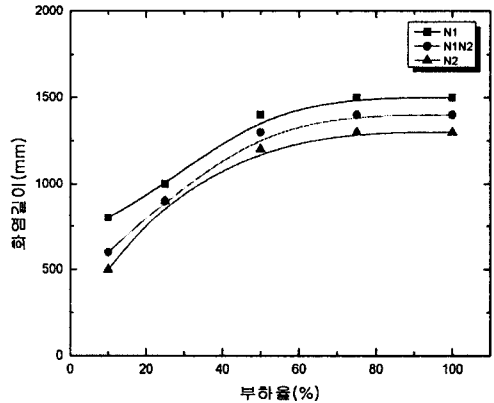


Fig.5 부하율에 대한 화염길이

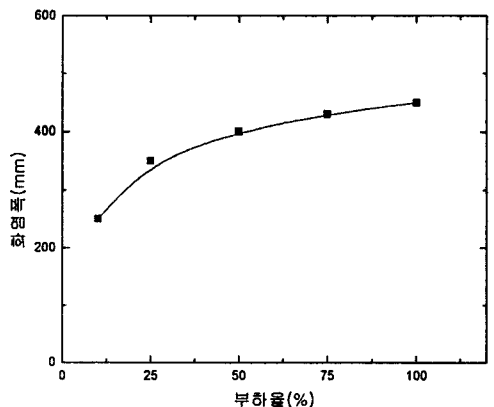


Fig.6 부하율에 대한 화염폭

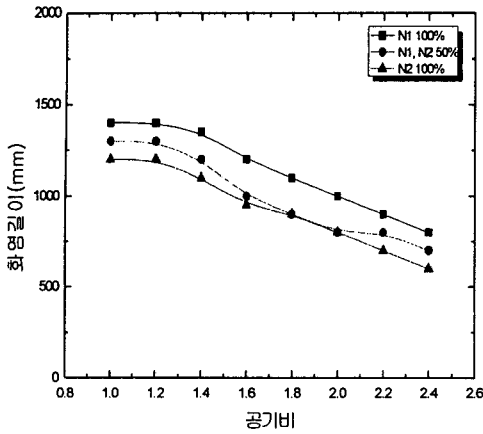


Fig.7 공기비에 대한 화염길이

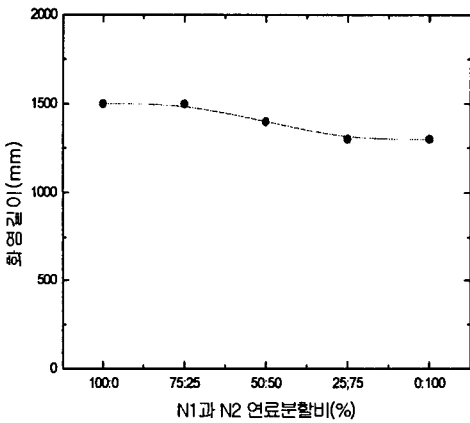


Fig.8 연료분할비에 대한 화염길이

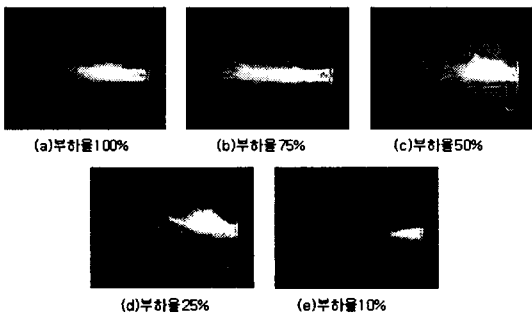


Fig.9 부하율 변화에 따른 화염의 안정성

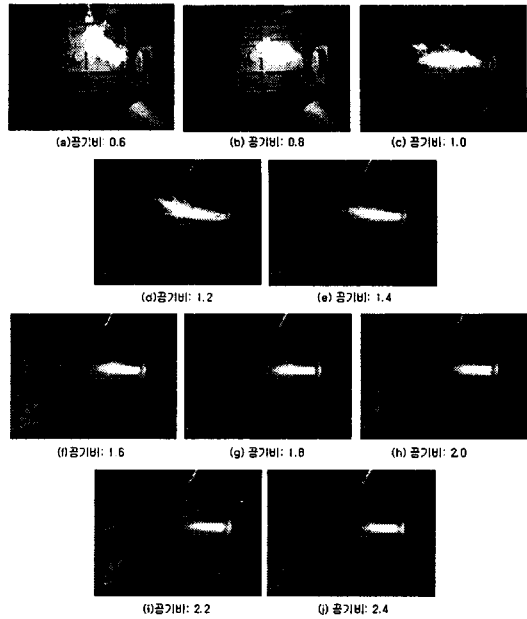


Fig.10 공기비 변화에 따른 화염의 안정성

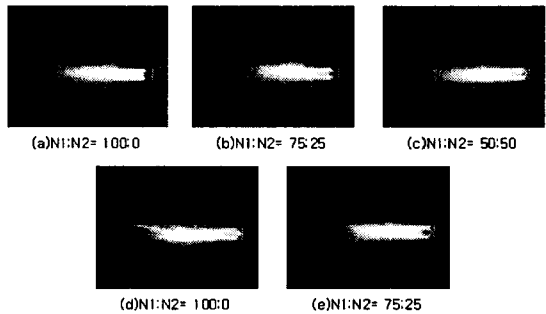


Fig.11 연료분할비 변화에 따른 화염의 안정성

3.3 로내 연소시의 온도분포

버너의 연소특성을 파악하기 위해 로내에 치부하여 연소상태에 대한 평가 및 로내 온도 균일성 등을 평가하기 위해 로의 좌, 우측에 각각 3개씩 R-type의 열전대를 부착시켰다. 온도는 데이터 로거를 통하여 2초 단위 실시간 순시치 데이터를 받아 저장하였다.

Fig.12는 로내의 각 지점에서 받은 로온의 변화를 나타낸 것이다. 본 연구에서는 연료분할비와 버너의 타일의 형상에 대한 연소상태(Turn down Ratio, 균일가열성, 화염의 안정성 및 CO 나 NOx 등의 배가스특성)에 대한 상용화된 버너를 개발하는데 목적이 있으므로 수동조작으로 성능평가를 실시하였다. Fig.12에서와 같이 2000초 지점(로온800℃)까지 100%의 부하로 로온을 급

상승시켰으며 2000~7500초까지는 25%부하로 로온의 변화를 관찰하였다. 1100℃로 가까워지면서 버너를 치부한 전단부와 stack쪽의 후단의 온도가 로내 중앙부의 온도를 따라가는 것을 확인할 수 있었다. 1200℃보다 높은 고온에서 조업이 이루어지는 제철현장을 적용시키기 위해 7500초 지점에서 부하율을 높여 50%부하에서 지속적인 테스트를 수행하였다. PID제어에 의한 자동제어가 아닌 수동 밸브조작에 의한 로온제어로 인해 현장에서 볼 수 있는 setting valve에 의한 피크치는 나타나지 않는다.

Fig.13은 버너연소 후 로의 중앙부분의 T/C가 1200℃ 되는 시점(버너연소 후8000초)에서 로의 전단부분과 후단부분의 온도분포를 나타낸 것인데 전단부분이 1197℃, 후단부분이 1179℃로서 21℃의 편차가 생기는 것을 볼 수 있다. 본 연구의 개발목표치인 100℃의 온도편차보다 훨씬 낮은 수치인 것으로서 매우 적합한 크기의 로가 선정된 것임을 알 수 있다.

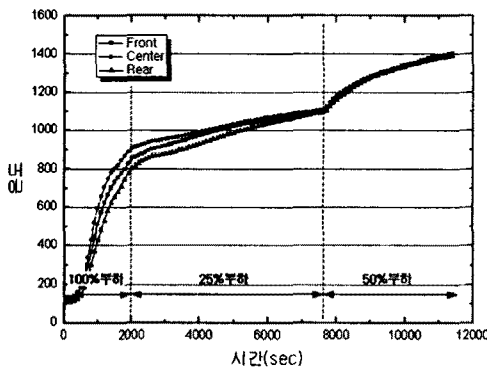


Fig.12 시간의 변화에 따른 로온 변화

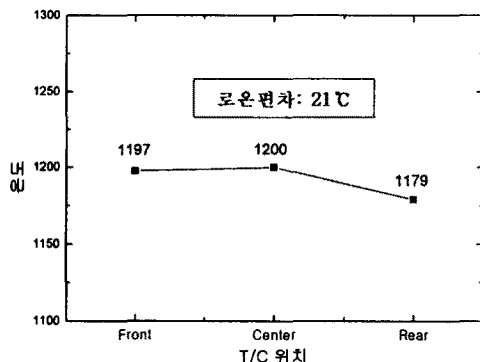


Fig.13 로내 T/C 위치에 따른 온도 분포

3.4 연료분할비에 따른 배가스 배출량

본연구의 최종목표인 상용화를 위한 연료분할 고속분사버너의 배가스 배출량을 측정하기 위하여

로의 stack 부분에서 Gas sampler를 이용하여 배가스를 흡입하여 배가스 분석기를 통하여 O₂, CO 그리고 NO_x의 발생량을 측정하였다. 앞장에서와 같이 대개의 공업용 실용설비에서는 공기과잉 연소방식을 채택하고 있고 연소설비 및 버너 자체의 성능도 매우 진보되어 완전연소를 달성하는데 어려움이 없어 SO_x와 NO_x를 제외한 나머지 공해물질은 비교적 쉽게 억제할 수 있다. 본 연구에서는 황이 함유되어 있지 않는 LNG연료의 사용으로 SO_x는 발생하지 않으며 연소조건과 연소방법에 따른 NO_x생성 억제를 다루고자 한다.

3.4.1. 공기비의 영향

공기비가 NO_x 생성량에 미치는 영향은 연소설비의 특성에 따라 다르게 나타난다. 즉 설비에 따라 공기비와 무관하게 노온을 일정하게 유지하는 경우와 노온이 공기비에 따라 변화하는 경우로 나눌 수 있다. 전자의 예로는 강제가열로의 경우 공연비 setting치에 따라 연료와 공기의 유량비가 일정하게 유지되며 로내에 설치된 열전대로서 노온을 감지하여 연료량이 조절됨으로서 노온의 설정치로 유지하게 된다. 이때 노온이 일정한 경우 공기비가 증가함에 따라 거의 선형적으로 증가하는 것을 볼 수 있다.

본 연구에서는 수동설비에 의해 공기비에 따라 노온이 종속되는 연소설비이다. Fig.14는 공기비에 따른 NO_x 생성량을 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 공기비가 증가함에 따라 증가하다가 최대치를 보인 후 다시 감소하는 역포물선 형태를 보인다. 이것은 공기비가 상대적으로 적은 범위에서 공기비가 증가할수록 반응영역에서 산소의 농도가 증가하기 때문이고 임계치(공기비:1.2)이상에서 NO_x가 감소하는 것은 연소영역의 냉각에 의한 것으로 NO_x의 발생이 온도에 영향을 받기 때문이다. 또한 N1 100%연소에 비해 N2 100%연소가 NO_x 발생량이 적은 것은 공기이단의 연소에 의한 효과로 1단계에서 연료를 100%공급하고 연소용 공기를 일부만 공급하여 연료과농 상태에서 연소시킴으로서 NO_x생성을 감소 및 기생성 NO_x의 환원을 유도하고 후단에서 나머지 공기를 공급하여 완전연소를 도모했기 때문이다. 이에 비해 N1, N2 각각 50% 연료를 공급한 경우 연료 1단에 전체연료의 50%만 공급하고 전체 공기의 70%를 주입하여 과잉공기비에서 연소시킴으로서 연소온도 저하에 의한 NO_x 생성억제를 유도하고 나머지 연료를 2단계에서 분사하여 연소를 종결시킴으로서 N1, N2에 각각 100%연료에 의한 연소보다 발생량이 적게 나타나는 것을 볼 수 있으며 적절한 N1, N2연료 분할비를 도출하는 것이 본 연구의 최종목표이다.

3.4.2. 연소실 온도의 영향

연소실 온도가 높을수록 평형농도에 도달하는 시간이 짧아지고 NO 발생량도 많아진다. 바꾸어 말하면 온도가 높을수록 NO는 빨리, 많이 생성된다. Fig.14는 공기비가 1.2 이상이 될 때 연소실의 온도가 떨어짐으로서 NOx의 발생량이 줄어드는 것을 잘 나타내어 준다. 연소온도가 상대적으로 높아질 때에는 NO 생성 속도식 중의 온도가 증가하고, 온도증가에 따라 산소의 해리도 촉진되므로 NO생성속도가 급격히 증가하는 것이다. 따라서 NO발생량 저감을 위하여 과부하연소를 피하고 적정온도로 연소실 온도를 유지해야 한다.

3.4.3. 체제시간의 영향

NOx 저감의 원리중 하나가 고온부에서의 체제시간을 짧게 하는 것이다. 연소용 공기와 연료의 유속을 빠르게 할수록 화염의 속도가 빨라지고 고온부의 체제시간을 짧게 함으로서 NOx의 발생량을 줄일 수 있다. 연료분할 고속분사버너는 타일 내에서 연소용 공기와 연료를 고속으로 분사함으로서 로내의 재순환 영역을 크게 함으로서 고온부의 체제시간을 줄이고 NOx의 발생량을 저감하는 것이다.

3.4.4. 연료분할비에 의한 영향

Fig.15는 연료분할비에 의한 NOx의 발생량을 나타낸 것이다. N1에 연료 100%공급부터 시작하여 순차적으로 늘여 점차 2차 연소역 영역으로 연료량 N2를 0-->100%까지 늘여 연소시켜 NOx의 발생량을 측정하였다. N2의 연료량을 늘일수록 NOx가 점차 줄어들다가 임계치에 이르러서 다시 NOx가 증가하는 것을 볼 수 있다.

일반적으로 연료다단분사는 주 연소역에 가능한 최소한의 연료와 최대한의 연소용 공기를 공급하는 파이로트 화염의 역할을 하는 것이 NOx 발생억제의 관점에서 유리하다는 것과 잘 일치하는 것을 볼 수 있으며 있다. 이것은 최초 N1이 100%인 주연소역 일 때 공기이단 연소의 효과를 보이다가 점차 N1을 줄이고 N2를 늘이면서 연료이단 공기이단의 효과가 발생하다가 다시 N2가 100%일 때 N2를 주연소 영역으로 하는 공기이단 분사가 이루어지는 것을 볼 수 있다. 즉 N1이 20%에서 연료분할에 의한 연료이단 분사가 가장 잘 나타나는 것으로서 1차 연소역에 고과잉공기비에서 연소시키므로서 연소온도 저하에 의한 NOx 생성이 억제되었으며 그 이후 N2에 점점 더 연료를 공급했을 때는 연료분할의 효과가 없어지고 N2 연료가 나오는 영역을 중심으로 공기이단 다단분사의 효과가 나타나는 것을 알 수 있다.

따라서, 1차 연소역(N1)에 20%의 연료를 주입했을 때가 100% 공급했을 때에 비해 NOx발생량이 최고 70%까지 저감됨을 알 수 있다.

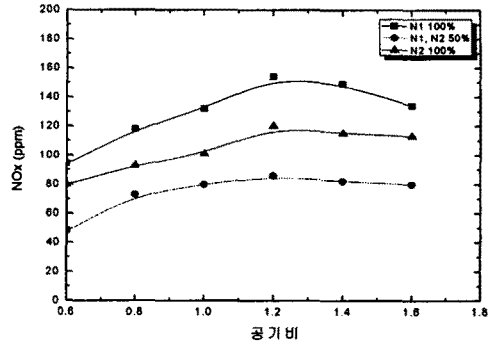


Fig.14 공기비에 따른 NOx의 배출량(O2 11%기준)

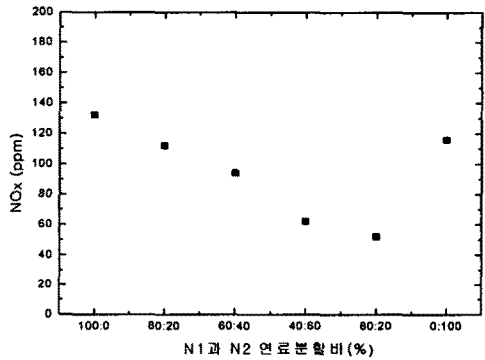


Fig.15 연료분할비에 따른 NOx의 배출량 (O2 11%기준)

4. 결론

본 연구에서 30만kcal/hr용량의 환경친화형 연료분할-고속분사식 버너 개발 및 운전기준을 확립하여 성능을 평가한 결과 최종 개발 목표를 달성 하였으며 상용화가 가능한 수준의 성능을 보였다.

세부개발내용으로는 첫째, N1:N2 = 20 : 80의 연료분할비 최적조건에서 NOx발생량 54 ppm으로 N1에 100%연료를 주입했을 때에 비해 최고 70%까지 저감되는 것을 알 수 있었다.

둘째, 1차연료를 주연소역에서 점선방향인 횡으로 공급하여 혼합을 촉진시켰으며 2차연료의 단계적 공급으로 완전연소를 이루는 노즐의 형상 및 배치설계기술을 개발하였다. 따라서 고온조건에서 쉽게 손상되는 금속재질의 연료공급노즐을

고온/산화 분위기에 노출시킬 필요가 없기 때문에 유지보수비용도 훨씬 저렴하고, 설비의 운전율을 높일 수 있다.

셋째, 연료 및 공기의 이단연소기술을 적용하여 1차 연소역에서 고과잉 공기연소를 2차 연소역에서 연료과잉연소를 실현하여 NO_x의 발생량을 감소시키는 버너타일 구조를 개발하였다.

마지막으로 연료 분할 고속분사식 버너에서 화염의 안정성을 극복하기 위해 점화장치에서 당사에서 개발된 Pilot burner를 버너타일에 적용하였다.

버너의 세부성능평가 결과는 아래와 같다.

- 1) TDR(Turn Down Ratio)은 1차 연소역에 측면으로부터 Pilot 버너를 연소시키고 1차연료(N1)를 주연소영역에서 수직으로 공급하여 혼합을 촉진시킴으로서 10:1의 수준으로 매우 높은 값을 나타내었다.
- 2) 균열가열성은 로내 재순환영역의 확대로 120 0℃에서 편차 21℃로 매우 균일한 결과를 얻었다.
- 3) 화염의 안정성은 각각의 조건에 대한 화염의 형상을 확인한 결과 매우 안정된 것을 확인할 수 있다. 초기 점화 시에 당사에서 개발된 Pilot burner의 적용으로 착화의 안정을 도모하였고 1차연료는 주연소영역에서 수직으로 공급하고 black body에 의한 후류방향으로 circulation을 일으킴으로 혼합영역을 만들었다. 이러한 횡류 분사방법은 열화에 의한 노즐의 부식을 방지할 수 있으며 혼합도 촉진시켜 화염의 안정화를 도모할 수 있다.
- 4) NO_x의 배출특성은 1차 연소역(N1)에 20%의 연료를 주입했을 때 NO_x발생량이 52ppm(과잉 공기비 1.1, 로온 1200℃)으로 가장 적게 발생하는 것을 알 수 있다.
- 5) 연소용 공기분사 속도는 버너형상설계에서 고속분사버너로서 100% 부하에서 연소용 공기에서 100%조건(예열공기 900℃기준)에서 설계되어 로내의 기연가스와 연료, 또는 연소용 공기와의 혼합이 촉진시켜 연소영역에서의 산소농도를 떨어뜨려 급속연소를 억제하여 국부고온 영역이 발생하지 않도록 하여 NO_x 생성을 억제한다.

후 기

이 연구는 2004년 중소기업기술혁신개발과제를 통해 수행되었으며 이에 감사의 뜻을 전합니다.

참고문헌

- [1] 문승현, 이인철, 최익수 “질소산화물 저감대책; 1. 생성기구”, 화학공업과 기술, 5(4), 442(1987)
- [2] 최윤기, 강경태, 김용모 “연소기에서의 다단계 NO_x 버너의 수치 및 실험적 연구” 한국연소학회 27회 논문집
- [3] 조길원, 박홍수, 이용국: 한국연소학회 제5회 초록집, p32(1990)
- [4] Jindo Chung, Kookyong Ahn, Jiwoong Han “An Experimental Study on the NO_x Formation of Fuel Staged Combustor”, Transactions of KSAE, Vol, No.6, pp.73-79(2003)
- [5] M. Nishimura, T. Suuki, R. Nakanishi and R. Kitamura “Low-NO_x Combustion under high preheated air temperature condition in an industrial furnace”
- [6] Industrial Burners Handbook, CHARLES E. BAUKAL, JR, CRC PRESS(2003)