

산업용 가스화 용융로를 위한 산소 버너의 개발

배수호* · 이은도** · 신현동** · 김성현*** · 구재희*** · 유영돈***

Development of Oxygen Combustion Burner for Industrial Gasification and Smelting Furnace

Soo Ho Bae, Uen Do Lee, Hyun Dong Shin,
Soung Hyoun Kim, Jae Hoi Gu, and Young Don Yoo

ABSTRACT

Multi-hole type oxygen combustion burner was developed for industrial gasification and smelting furnace. We investigated characteristics of flame, radiation transfer, and soot emission in the convectional oxygen burner with respect to the feeding condition of fuel and oxygen. Regarding the results of the conventional burner, we designed new burners which have larger fuel consumption rate and radiation heat transfer. We changed the size and hole number and shape of the exit plane of the burner. In addition, the performance of the burner was tested with respect to the feeding condition of the fuel and air: Normal Diffusion flame(NDF) and Inverse Diffusion Flame(IDF). We investigated the flame configuration, radiation heat transfer, and soot formation by using a CCD camera, heat flux meter, and Laser Induced Incandescence(LII), respectively. The stable operating condition was obtained by the flame configuration and the flame of the burner which has dented exit plane was more stable in whole operating conditions. The characteristics of radiative heat transfer were sensitive to the feeding condition of reactants and the flame of 75% primary oxygen and 25% secondary oxygen of the IDF case shows maximum radiation heat transfer. The soot volume fraction of the flame was measured in the axial direction of the flame and the amount of soot volume fraction is proportion to the radiation heat transfer. As a result, we can get the optimal operating condition of the newly designed burner which enhances the characteristics of flame stabilization and radiation heat transfer.

Key Words : LII(Laser Induced Incandescence, 레이저 유도 백열법), Radiation Heat Transfer(복사열전달), IDF(Inverse Diffusion Flame, 역확산화염), NDF(Normal Diffusion Flame, 확산화염)

기 호 설 명

λ	excess oxygen ratio	Υ	oxygen feeding ratio
Q_p	primary oxygen flowrate	Q_s	secondary oxygen flowrate

* 한국과학기술원 기계공학과 대학원

** 한국과학기술원 연소기술연구센터

*** 고등과학기술원

† 연락처, hdshin@kaist.ac.kr

TEL. 042-869-8821

1. 서 론

최근 폐기물의 처리 문제와 관련하여 매립지의

확보, 소각시설 등의 유치가 지역주민들의 반발에 따라 사회 문제가 되고 있다. 쓰레기 처리의 방법 중 많은 부분이 소각을 통하여 해결되고 있는데 국내의 기존 소각장들은 대부분 화격자(Grate)위에서 폐기물을 연소시키는 스토커식(Stoker-type)으로 되어있다. 스토커식은 비교적 구조가 간단하고 쓰레기의 노내 이동 제어가 용이하다는 장점이 있으나 연소가스에 질소산화물이나 다이옥신 등의 환경규제 물질이 다수 포함되어 이를 처리하기 위해서는 전기집진기, 습식세정탑, 건식반응탑, 활성탄주입설비, 촉매반응기 및 백필터 등 소각 후처리 설비가 복잡하게 구성되어야 하는 단점이 있다. 특히 스토커식 소각로의 경우 이론적인 완전연소 기준으로 공기비가 1.5-2배의 공기가 공급된다. 이러한 과급공기를 이용한 경우 연소 후에 배기가스의 열손실이 크게 된다. 이는 연소 가스의 온도의 감소를 야기하며 효율을 떨어뜨리는 주된 원인이 된다. 또한 다이옥신, 질소화합물, 일산화탄소 등의 환경오염물을 많이 배출하는 원인이 되기도 하며 이러한 부산물을 처리하기 위한 설비를 추가함에 따른 경제적 부담을 가중시키는 결과를 초래한다. 이러한 기존의 소각로의 문제점을 해결하기 위해서는 단순히 후처리설비에 의존할 것이 아니라 원천적인 소각기술에 대한 연구가 필요하다. 최근 열분해용 소각기술이 개발되어 이러한 문제점을 해결하는데 도움이 될 것으로 기대된다. 또한 열분해용 소각기술에서 공해물질을 최대한 감소시키기 위해 연소유동을 제어하는 기술이 개발되고 있다[1].

본 연구에서는 위에서 언급한 환경적인 문제를 해결하고 효율적인 연소를 수행하기 위해 가스화 용융로내의 순산소 연소에 대한 연구를 수행하고자 한다. 순산소 연소는 산화제로 사용되는 공기를 산소로 대체함으로써 공기를 사용하였을 경우 발생하는 질소산화물의 이론적 발생을 막을 수 있으며, 연소 후 배출되는 질소로 인한 열손실을 줄일 수 있어 효율적인 연소가 가능하게 된다. 또한 산소연소로를 통해 연소영역이 크게 감소함으로써 소형 연소 시스템이 가능해진다. 한편, 산소연소를 통해 연소영역이 줄어들고, 연소 영역 내 온도가 크게 증가함에 따라 화염에서부터 복사열전달의 중요성이 상대적으로 매우 커지게 된다. 특히 소각로의 경우 폐기물이 가지는 다양한 형상과 연소조건에 따라 연소가스의 대류에 의존한 열전달이 불가능해지는 경우가 빈번히 발생하여 이때 복사열에 의한 열전달은 폐기물의 고온 열용량과 가스화를 촉진하는 역할을 한다. 본 연구에서는 산업용 가스화 대용량 산소버너를 새로 디자인하고 각 운전조건에서 화염의 안정화 특성과 복사열전달특성을 알아보려고 한다. S. S.

Hwang과 J. P. Gore,는 동축류 버너의 산소부화 조건에서 일반산화염과 역산화염의 경우에 대하여 LII법을 이용하여 매연의 농도를 측정하였으며 복사계(radiometer)를 이용하여 공간적인 복사 열전달량을 계측하였다. 역산화염의 경우 두 개의 화염면이 존재하여 복사열전달량이 일반산화염보다 증가하였다고 설명하였다[2]. Baukal과 Gebhart는 산소부화 천연가스의 확산 화염에서 연료와 산화제의 공급조건, 산화제의 조성, 당량비를 변화시켜가면서 축방향과 반경방향에 따라 복사열전달특성을 살펴보았다. 그 결과 안정적인 작동조건을 구하였고 순산소 화염에서의 화염이 공기내에서의 화염보다 복사열전달량이 수 배 증가함을 보였다[3]. L Wang 등은 산소부화 난류확산 화염에서 매연의 농도가 복사열전달량에 영향을 미침을 수치적으로 보였다[4].

본 연구에서는 현재 산업용 가스화 열용융로에서 사용되고 있는 가스화 용융로버너에서 일반산화염과 역산화염의 두 가지의 경우에 대해 각각의 연료와 산소의 공급조건을 변화시키면서 연소특성을 살펴보고 이를 토대로 기존 용량의 5배에 이르는 연료를 연소시키는 대용량 산소 연소기를 개발하였다. 두 가지 형태의 연소기에서 각각 역산화염과 일반산화염에서 화염의 특성을 살펴보고 보다 우수한 성능을 가지는 버너와 안정한 연소조건을 얻었다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치 및 실험 조건

Figure 1은 산업용 가스화 용융로를 위한 실험 장치의 개략도이다. 최적 작동 조건을 찾기 위해 Fig. 1 (a) NDF(Normal Diffusion Flame), (b) IDF(Inverse Diffusion Flame)의 두 가지 형태의 버너로 동작시킨다. 그리고 동일한 당량비 조건에서 산소공급비를 바꾸어가며 실험한다. Fig. 1 (c)는 전체 실험 장치의 개략도이다. 순산소연소를 위한 가스 공급부(O₂, LPG, MFC), 영상획득을 위한 부분(Nikon D70s, Video camera, ICCD camera), 취득한 데이터를 처리하기 위한 데이터 처리부(Computer, Image processing unit)로 구성된다.

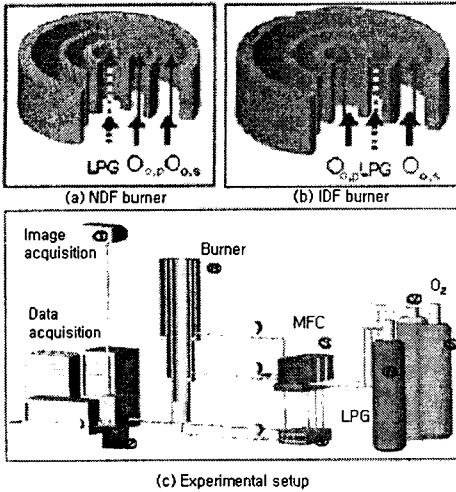


Fig. 1 Experimental apparatus

Figure 2는 가스화 용융로 버너의 작동 조건을 결정하기 위하여 제작된 모델 버너이다. 그림에서는 역확산화염의 형태의 공급조건을 명명하였다. Fig. 2의 ①산소공급관과 ②연료공급관을 교환하면 일반확산화염을 만들 수 있다. Fig. 3에서와 비슷한 형상으로 중앙의 관이 있고 두 개의 동축중심에서 72°의 간격으로 5개의 구멍이 각각 서로 교차되게 설계되어 있다.

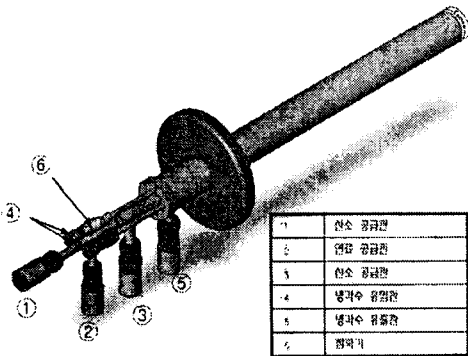


Fig. 2 Schematic diagram of a model burner

본 연구는 순산소조건에서 산소과잉율 $\lambda = 1.1$ 로 고정하였고 산소공급비(일차산소와 이차산소의 비)를 달리하여 각각의 경우에 대해 실험을 하였다.

$$\lambda = \frac{\text{total oxygen flow rate}}{\text{oxygen flow rate for stoichiometry}} \quad (\text{Eq. 1})$$

$$\gamma = \frac{\text{primary oxygen feeding rate}}{\text{secondary oxygen feeding rate}} \quad (\text{Eq. 2})$$

Table 1은 일반확산화염과 역확산화염의 경우

에서 공급되는 연료 유량을 고정하고 일차산소(Qp)와 이차산소(Qs)의 공급비에 따른 조건을 나타내고 있다. 이후 산소공급조건을 모델명으로 지칭하기로 한다.

Table 1 Feeding condition and naming the burner according to their feeding conditions

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
Qp	100%	75%	50%	25%	0%
Qs	0%	25%	50%	75%	100%
NDF	NDF-0	NDF-25	NDF-50	NDF-75	NDF-100
IDF	IDF-0	IDF-25	IDF-50	IDF-75	IDF-100

Figure 3은 새로 설계된 두 개의 가스화 용융로 산소 버너의 형상이다. Type 1의 버너는 물로 냉각되는 부분이 버너의 중심에서 높이방향으로 조금 높게 설계되었고 일차 구멍과 이차 구멍이 여덟 개씩 45° 간격으로 구성되어 있다. Type 2는 버너의 끝이 평행하게 되어있으며 첫 번째 동심을 중심으로 네 개, 두 번째 동심원을 중심으로 여덟 개의 구멍이 각각 90°와 45°의 간격으로 구성되어 있다. 그림에서는 일반 확산화염의 경우를 표현했으며 Fig. 2에서와 동일하게 ⑤번의 프로판과 ④번의 일차산소와 바꾸면 역확산화염을 만들 수 있다.

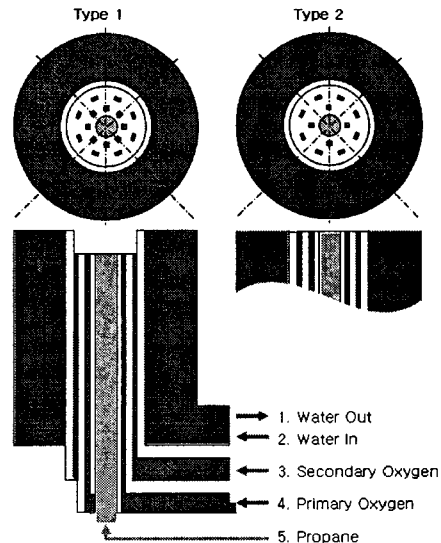


Fig. 3 Schematic diagram of modified burners

2.2 실험방법

Figure 4는 매연의 농도를 계속하기 위한 광계 측정장치 장치의 개략도이다. LII법에서 사용하는 장치부와 광소멸법에서 사용하는 장치 그리고 복사열전달 양을 측정하기 위한 장치부로 크게 세

부분으로 구분된다. 매연입자의 정성적인 농도 측정을 위한 LII법의 장치는 펌프광(pumping laser)으로 Nd-YAG 펄스레이저(Powerlite 8010, 최대 500 mJ/pulse, 펄스폭 8 ns)와 레이저를 측정부에 조사하는 광학장치부분으로 반사거울, 원통형 렌즈(cylindrical lens, f=50 mm), 볼록렌즈(convex lens, f=350 mm) 그리고 LII신호를 검출하는 수광부로 레이저와 동기 된다. Nd-YAG 레이저에서 나온 광은 외곽의 약한 레이저빔은 핀홀에 의해 제거된 후 원통형 렌즈와 볼록렌즈를 통하여 평면광으로 만들어 진다. 평면광의 외곽 부분은 다시 슬릿을 이용하여 제거되고 4 cm의 평면광이 시험부를 지나게 된다. 이 광이 화염내의 매연입자를 가열하고 LII신호가 발생 된다. LII신호 이외의 신호(PAH에 의한 형광, C₂분자에 의한 형광등)를 배제하기 위하여 450 nm±10nm의 대역폭을 가지는 band pass filter를 사용하여 신호를 취득하였다. 그리고 LII신호는 광산란이나 LIF 신호에 비해 지속시간이 길다는 특성을 가짐으로 ICCD의 gate delay를 140 ns, gate width를 100 ns로 하여 잡음 신호를 줄일 수 있었다[5]. 표준버너에서의 작동조건은 중앙에 위치한 8mm의 노즐에서 180 cc/min의 에틸렌을 공급하고 그 주위로 직경이 80 mm인 허니콤을 통하여 35 l/min의 공기를 공급한다. 한 번에 10장의 LII신호를 적분하여 처리하였다. 산소버너에서는 난류화산화염의 형태를 가지므로 한 번에 100장의 LII신호를 적분하여 처리하였다. 둘째, Oh[5]는 LII법에서 구한 정성적인 매연입자의 농도를 정량화 하기위한 광소멸법의 장치는 펌프광으로 He-Ne 레이저(30 mW)를 사용하였고 광원의 세기를 조절하기 위하여 ND필터(Neutral Density Filter)를 사용하였고 공간 분해능을 높이기 위해서 초점거리가 500 mm인 볼록렌즈를 사용하였다. 수광부로는 PMT(Photomultiplier tube)를 사용하고 PMT 전단에서 핀 홀과 중심 파장이 635 nm, 밴드 폭이 10 nm인 필터를 사용하여 화염자발광을 제거하였다. 본 연구에서 광소멸법은 선행된 연구자[5]의 실험결과를 이용하였다. 매연의 농도 분포를 정량화하기 위해 선행자와 동일한 형상의 화산화염 버너를 구성하여 모든 실험을 수행하였다. 셋째, 화염에서의 복사열전달량을 측정하기 위해 물로 냉각되는 구조로 된 복사열유속계(Medtherm Corp., model 64-1-18)를 사용하였다. 복사열유속계는 화염에서 30cm떨어진 위치에 설치하였으며 축방향으로 2cm간격으로 측정하였다. 복사열유속계 전단에 공기로 냉각되는 직경 2.5cm, 길이 5cm의 실린더를 설치하여 보다 우수한 공간 분해능을 가진 상태의 복사열전달량을 측정하였다. 공기로 냉각시키는 이유는 실린더의 온도 상승으로 인한 복

사열전달을 막기 위함이다.

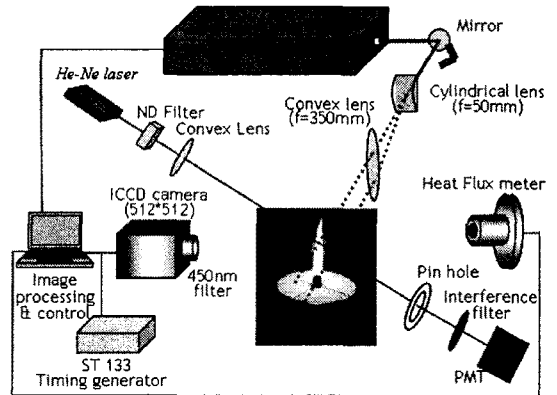


Fig. 4 The schematic diagram of optical setup for measuring soot volume fraction

3. 결과 및 고찰

3.1 실험내용

가스화 용융로에 사용되는 산소버너의 경우 화염의 부상(lift-off), 날림(blow-out) 그리고 화염에 의한 소음과 진동에 의한 불안정한 영역을 피하여 작동되어야 한다. 또한 화염에서 매연의 발생으로 인한 오염문제를 해결하여야한다. 본 연구에서는 연료와 산소의 공급유량을 고정하고 산소의 공급비만을 조정하여 실험을 수행하였다. 화염에서 매연의 농도에 의한 복사열전달의 효과를 살펴보기 위하여 작동조건에 따라 LII법을 통해 매연 농도 측정하고 복사열유속계로 복사열전달량을 측정하여 이를 비교하여보았다.

3.2 기존 실용 버너의 실험 결과

Figure 5는 기존의 실용 버너에서 프로판의 유량이 1 m³/hr이고 산소의 유량이 5.5 m³/hr로 과잉산소비가 λ=1.1인 경우에 산소공급비를 Table 1과 같이 변화시킬 때 화염의 직접사진이다. Fig. 5에서 (a) NDF의 경우는 (3) NDF-50, (4) NDF-75의 화염의 길이가 가장 길고 Fig. 5에서 (b) IDF의 경우는 (2) IDF-25, (3) IDF-50가 각각 화염의 길이가 가장 길게 나타났다. 또한 실험 전 영역에서 소음이 심하게 발생하였다. 그리고 화염의 중심부근의 강한 휘염이 나타나는 부분에서 복사열전달량이 가장 클 것으로 생각된다. 복사열전달량에 매연의 농도가 큰 영향을 미칠 것이라 생각되어 Fig. 5의 네 가지 경우((a) (3),(4)와 (b) (2),(3))에 대하여 LII법을 이용한 매연의 농도를 측정하였다.

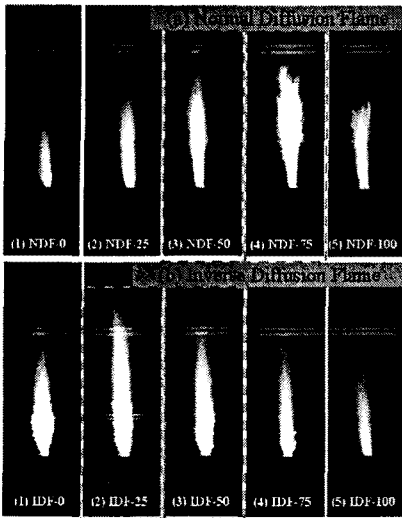
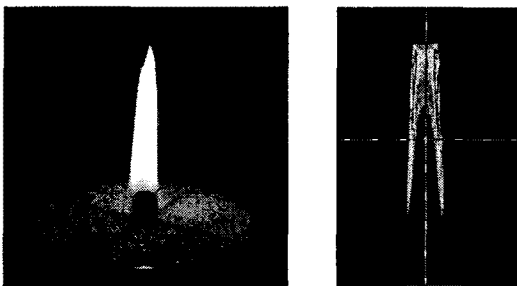


Fig. 5 Direct photographs of model burner according to oxygen feeding ratio at excess oxygen ratio 1.1

Figure 6 (a)는 표준버너의 직접화염사진이고 (b)는 표준버너에서 측정된 10 번 적분된 LII 신호에서 10 번 적분된 화염자발광을 뺀 순수한 LII 신호이다. (b)에서 높이가 15 mm, 25 mm 일 때의 신호의 강도를 각각 동일한 높이에서 광소멸법으로 구한 매연의 농도와 비교하여 관계식을 찾을 수 있다.



(a) Direct photograph of standard NDF burner (b) LII signal standard NDF burner
Fig. 6 Direct photographs according to oxygen feeding ratio at excess oxygen ratio 1.1

Figure 7은 Oh[5]가 표준버너에서 광소멸법으로 측정된 화염높이에 따른 매연농도의 값이며 Fig. 8은 본 연구에서 Oh[5]가 사용한 것과 동일한 형상과 조건의 버너에서 측정된 LII 신호이다. 매연의 농도 값과 LII 신호가 비례한다는 가정에서[6] Table 2와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 이것으로부터 선형보간을 하면 LII 신호의 강도와 매연의 농도가 Eq. 3으로 구해진다.

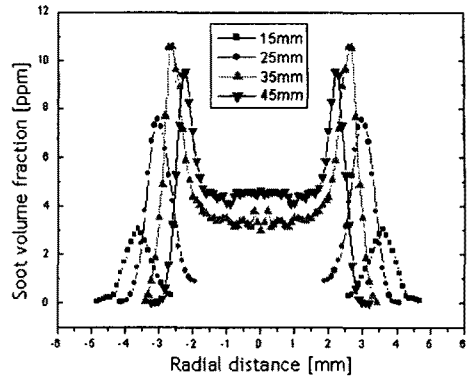


Fig. 7 Soot volume fraction of standard NDF burner by Extinction method

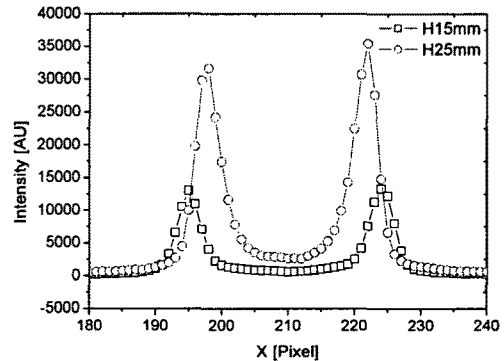


Fig. 8 LII signal of standard burner

Table 2 Linear regression between soot volume fraction measured by Extinction method and intensity measured by LII method

Soot volume fraction[ppm]	Intensity[AU]
3	1625
7.5	3800

$$\text{Intensity} = 175 + 483.3 \cdot V_{\text{soot}} \quad (\text{Eq. 3})$$

Figure 9는 모델 버너의 직접 화염사진과 높이에 따른 LII 신호를 동일한 스케일로 직접비교한 결과이다. 매연의 농도가 높은 곳의 위치는 역확산화염의 경우가 일반확산화염보다 화염대의 아래쪽에 분포한 것을 알 수 있다. 직접화염사진을 살펴보면 매연농도가 높게 측정되는 곳에서 강한 휘염이 생기는 것을 볼 수 있다. 또한 복사열전달에 매연의 농도가 큰 영향을 미친다는 것은 많은 연구자[7, 8]들에 의해 보고되고 있으며 이러한 결과로부터 매연농도가 큰 곳에서 복사열전달량이 커질 것으로 판단된다.

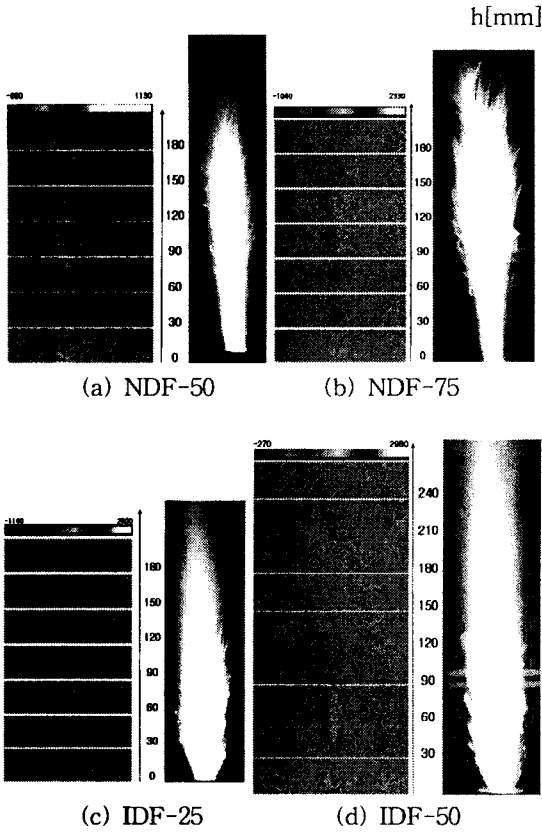
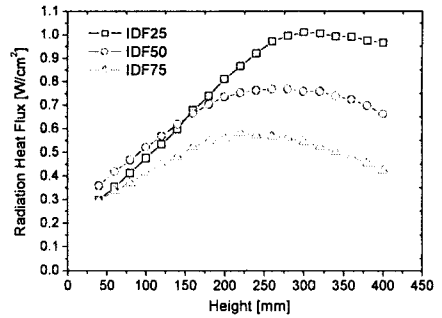


Fig. 9 Comparison of LII signal with direct photograph of a model burner

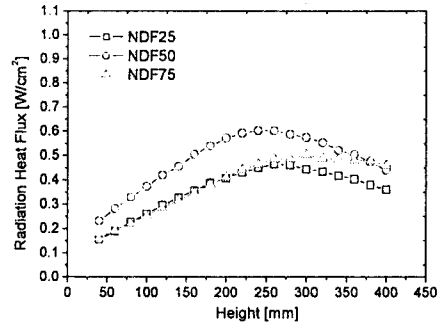
3.2 설계된 새 버너의 실험 결과

기존의 실용 버너를 실험한 결과 심한 소음과 적은 용량 등의 문제점을 가지고 있었다. 따라서 소음이 적고 고용량의 복사열전달이 활발한 새로운 버너를 설계할 필요성이 있었다. 본 연구에서는 Fig. 3의 두 가지 형상의 버너를 설계하여 작동 조건에 따른 화염형상, 화염의 복사열전달량, 매연의 농도 등을 화염의 직접사진, 복사열유속계, LII법으로 각각 측정하여 전반적인 버너 특성을 살펴보았다.

Figure 10은 복사열유속계를 이용하여 type1의 버너에 대하여 프로판이 3 m³/hr, 공급산소가 16.5 m³/hr인 경우 복사 열전달량을 측정된 결과이다. 역확산화염의 경우 산소공급비 $\gamma=3$ 일 때 (IDF-25)가 복사 열전달량이 가장 크고 일반확산화염일 경우는 산소공급비 $\gamma=1$ (NDF-50)일 경우 가장 큰 값을 얻었다.



(a) Inverse diffusion flame



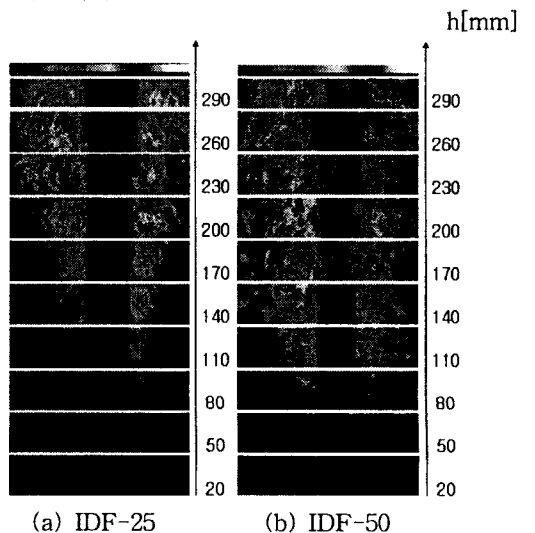
(a) Normal diffusion flame

Fig. 10 Spectral radiation heat flux along the axis for the IDF and the NDF

새로 설계된 버너에서 매연의 농도를 얻기 위하여 모델 버너에서 LII신호와 매연농도의 관계식을 얻은 것과 동일한 방법으로 다음의 식을 얻었으며 이를 통하여 LII신호를 정량화 하였다.

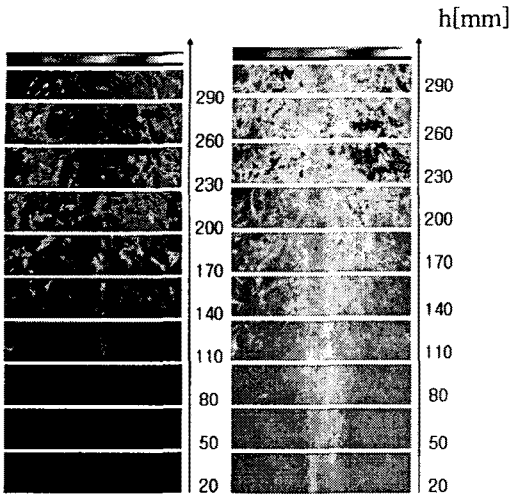
$$\text{Intensity} = 578.55 * V_{\text{soot}} \quad (\text{Eq. 4})$$

Figure 11은 type 1의 버너의 경우에 측정된 LII 신호이다.



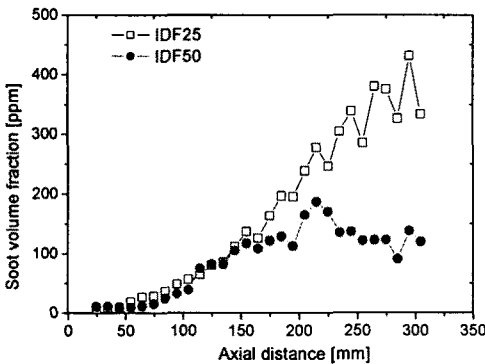
(a) IDF-25

(b) IDF-50

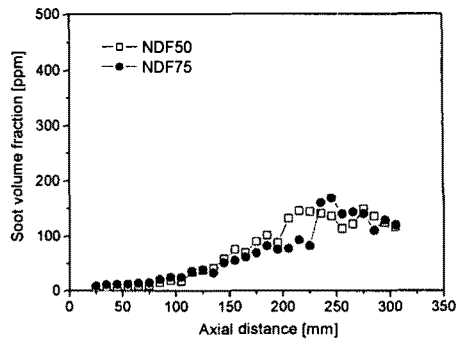


(c) NDF-50 (d) NDF-75
Fig. 11 LII signal of type 1 burner

Figure 12는 Fig. 11에서 측정된 LII신호로부터 매연의 농도를 정량화한 그래프이다. Fig. 12의 (a) 역확산화염의 조건에서는 산소공급비 $\gamma=3$ (IDF-25)인 경우가 $\gamma=1$ (IDF-50)일 때 보다 전체적으로 매연 농도가 높다. Fig. 12의 (b) 일반확산화염의 조건에는 산소공급비가 $\gamma=1$ (NDF-50)일 때와 $\gamma=1/3$ (NDF-75)일 때의 매연의 농도가 거의 비슷하게 측정되었다. 그리고 각각의 조건을 비교해 보면 역확산화염 조건에서 산소공급비 $\gamma=3$ (IDF-25)인 경우가 매연의 농도가 가장 크게 측정되었으며 Fig. 10 (a)에서도 가장 큰 복사열 전달량을 나타내었다. 따라서 IDF-25의 경우가 설계된 버너 중 가장 좋은 조건으로 판단된다.

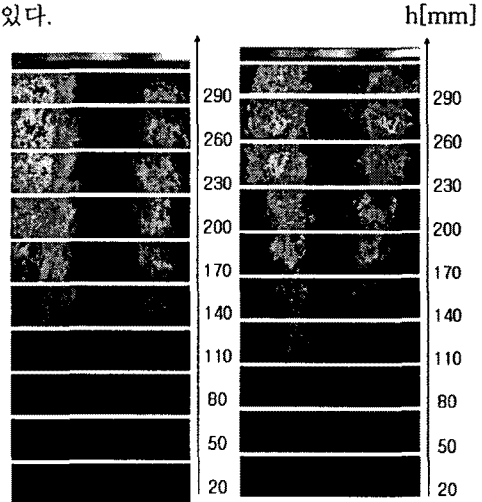


(a) Inverse diffusion flame

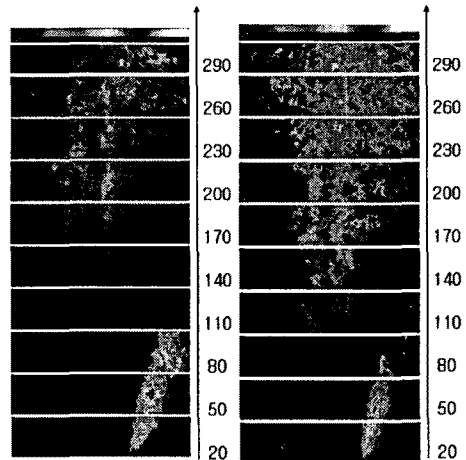


(b) Normal diffusion flame
Fig. 12 Soot volume fraction of type 1 burner

Figure 13은 type 2의 버너의 경우에 측정된 LII 신호이다. Fig. 13의 (c)와 (d)의 경우를 살펴 보면 버너의 끝에서 하류방향에 수직한 반경방향으로 화염이 생기고 매연의 농도가 높게 나타나고 있다.



(a) IDF-25 (b) IDF-50



(c) NDF-50 (d) NDF-75
Fig. 13 LII signal of type 2 burner

Figure 14는 Fig. 13에서 측정된 LII신호로부터 매연의 농도를 정량화한 그래프이다. Fig. 14의 (a) 역확산화염의 조건에서는 산소공급비 $\gamma=3$ (IDF-25)인 경우가 $\gamma=1$ (IDF-50)일 때 보다 전체적으로 매연 농도가 높다. Fig. 14의 (b) 일반확산화염의 조건에서의 매연의 농도는 산소공급비가 $\gamma=1/3$ (NDF-75)일 때가 $\gamma=1$ (NDF-50)일 때 보다 크게 측정되었다.

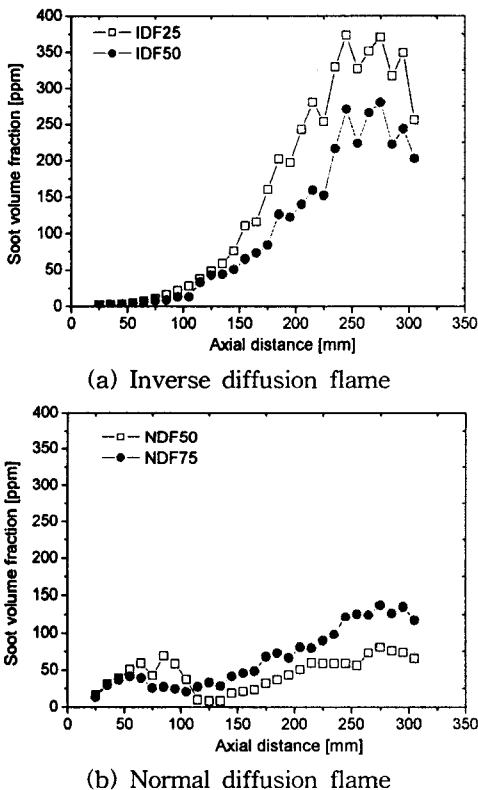


Fig. 14 Soot volume fraction of type2 burner

4. 결론

본 연구에서는 가스화 용융로에 사용되는 순산소 버너로 산소과잉비 $\lambda=1.1$ 의 조건에서 일반확산화염과 역확산화염에 대하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

첫째, 기존 실용버너를 이용하여 다양한 연소 조건에서 화염의 형상, 매연농도를 직접사진과 LII법으로 각각 측정하여 화염 특성을 살펴보았다. LII법을 이용하여 매연농도의 분포를 살펴본 결과 역확산화염의 조건에서는 산소공급비 $\gamma=3$ (IDF-25)일 때 화염대의 아래쪽 영역에서 매연 농도가 높고 화염대의 위쪽으로 가면서 산소

공급비가 $\gamma=1$ (IDF-50)가 매연의 농도가 높게 측정되었다. 일반확산화염의 조건에는 산소공급비가 $\gamma=1/3$ (NDF-75)일 때 화염대의 위쪽영역에서 매연의 농도가 높게 측정되었다.

둘째, 기존의 실용버너에서 소음과 작은 용량을 개선하기 위하여 다중 홀 형태의 새로운 버너 두 개를 설계하였고 직접사진을 통한 화염형상, 복사열유속계를 통한 복사열전달량 그리고 LII를 통한 매연의 농도를 일반확산화염과 역확산화염의 경우에 대해 각각 산소공급비를 바꾸면서 측정하였다. Type 2는 직접사진과 LII의 결과 불안정한 상태의 화염인 것으로 판단되어 type 1의 경우에 한하여 복사열전달량을 측정하였다. 직접사진을 통하여 산소공급비 $\gamma=1/3, 1, 3$ 인 경우에 복사열전달특성이 우수할 것으로 생각되어 이 세 조건에서 복사열유속계를 이용하여 복사열전달량을 구하였다. 복사열전달량은 일반확산화염의 경우 산소공급비 $\gamma=1$ (NDF-50)인 경우 그리고 역확산화염의 경우에는 산소공급비 $\gamma=3$ (IDF-25)인 경우가 가장 크게 측정되었다. 특히 역확산화염의 경우에서 산소공급비 $\gamma=3$ (IDF-25)일 때가 가장 큰 복사열전달 특성을 가짐을 알 수 있었다. 이러한 결과는 LII법을 통한 정량화 과정을 거쳐 구해진 매연 농도의 결과와 비교하여 불매연의 농도 큰 경우에 복사열전달량이 커짐을 알 수 있었다. 따라서 복사열전달량을 크게 하기 위해 설계된 두 개의 버너에서 적절한 작동 조건은 산소공급비 $\gamma=3$ (IDF-25)가 적절할 것으로 판단되었다. 그리고 새로 설계된 버너가 기존의 상용버너보다 복사열전달특성이 매우 우수함을 알 수 있었다.

후기

본 연구는 고등기술연구원의 "폐기물 가스화/용융 처리를 통한 합성가스 생산 및 이용시스템 실증연구"와 연소기술연구센터(CERC)의 도움으로 진행되었으며 이에 감사의 뜻을 전합니다.

참고문헌

- [1] 박순덕, 가스화 용융로의 도입상황과 기술상의 과제, 환경연구정보센터, 2003 (번역자료: 藤吉 秀昭, 새로운 쓰레기 처리 방식-차세대 급탄기(stoker)와 가스화 용융로①, 일본공업신문사 지구환경 9월호, 일본환경위생센터)
- [2] Sang Soon Hwang, and Jay P Gore, "Combustion and Radiation Characteristics of Oxygen-Enhanced Inverse Diffusion Flame", KSME International Journal, Vol. 16 No. 9,

2002, pp. 1156-1165

[3] Baukal, C. E., and Gebhart, B. "Oxygen-enhanced/natural gas flame radiation", *International journal of heat and mass transfer*, Vol. 40 No. 11, 1997, pp.2539-2548

[4] Wang, L., Haworth, D.C., Turns, S.R., and Modest, M.F. "Interactions among soot, thermal radiation, and NO_x emissions in oxygen-enriched turbulent nonpremixed flames: a computational fluid dynamics modeling study", *Combustion and flame*, Vol. 141 No. 1/2, 2005, pp.170-179, pp. 17-49

[5] Oh, Kwang-Chul, "An experimental study of soot formation and the growth of incipient soot particles in coaxial diffusion flames", Doctoral Thesis, Dept. of Mech. Eng., KAIST, 2005

[6] 정석호, 한재원, 정종수, 이원남, 고동섭, 김경수, 이기형, 강경태, "레이저용융연소계측", 문운당, 2001 pp. 134-145, pp. 263-274

[7] Farias, T.L., Carvalho, M.G., Koylu, U.O., "Radiative heat transfer in soot-containing combustion systems with aggregation", *International journal of heat and mass transfer*, Vol. 41 No. 17, 1998, pp.2581-2587

[8] Dembele, S., Wen, J. X., "Investigation of a spectral formulation for radiative heat transfer in one-dimensional fires and combustion systems", *International journal of heat and mass transfer*, Vol. 43 No. 21, 2000, pp. 4019-4030