

순산소를 이용한 유리 용해로의 연소특성에 관한 실험적 연구

김세원* · 신명철* · 안재현** · 김용모**

Experimental study on combustion characteristics of oxy-fuel glass melting furnace

Se-Won Kim*, Myung-Chul Shin*, Jae-Hyun Ahn**, Yong-Mo Kim**

ABSTRACT

The results of a series of experiments executed by using two pilot-scale oxy-fuel burners are presented. The oxy-fuel burners are designed for maximum capacity of 50,000 kcal/hr, 200,000 kcal/hr and installed in the test furnace. The effects of turn-down ratio, excess oxygen ratio, nozzle exit velocity, injection angle, and swirl vane angle on the combustion characteristic are investigated. Temperature distributions are measured using R-type and Molybdenum sheathed C-type thermocouple at various points of the flame.

The results showed that maximum temperature and mean temperature increase with the increase of turn-down ratio and momentum. The maximum flame temperature was increased about 35% compared to the case of equivalent air operated condition. In addition, optimum burner type, excess oxygen ratio and nozzle characteristics are obtained for this oxy-fuel glass melting furnace.

Key Words : Oxy-Burner(순산소 버너), Annular Jets Burner(동축 제트 버너), Flat Jets Burner(평면 제트 버너), Momentum(운동량), Glass Melting Furnace(유리 용해로)

기 호 설 명

T/D	Turn-down ratio	θ	Swirl angle
T	Flame Temperature	λ	Excess oxygen ratio
Q	Heat Input		

1. 서 론

90년대 중반 이후 순산소 연소는 보일러와 같은 일반적인 산업용 연소시스템과는 달리 유리용해로 연소 시스템과 같이 상당히 고온 분위기의 응용분야에서 유해 배기가스 및 배기가스의 총량을 줄이고 생산성 향상을 위한 대안으로 알려져

왔다. 이에 따라 초기 순산소 버너의 경우 기존의 공기 버너에 비해 NOx를 약 90%이상 줄이는데 성공[1-2]하였고 최근에는 좀더 높은 연소 효율과 용해로 자체의 생산량과 질의 개선과 이에 따른 운전 비용의 최적화가 순산소 연소에 있어 주 관심의 대상이 되고 있다.

순산소 연소 방식은 기존의 공기를 산화제로 사용한 연소방식에 비해 앞서 언급한 바와 같이 NOx를 비롯한 배기가스를 크게 줄인 반면 순산소를 사용한 연소 방식의 특성상 매우 높은 화염 온도로 인해 최근에는 액체연료를 사용할 경우 연료 중 질소성분에 의한 NOx발생과 연소로 내

* 한국생산기술연구원 환경 시스템팀

† 연락처, E-mail : mcshin@kitech. re. kr

** 한양대학교 기계공학과 대학원

대기 중 미량의 공기 유입으로 인한 NO_x 발생이 강화되어지는 환경 규제와 함께 순산소 연소 시스템의 또 다른 문제점으로 제시되어 NO_x 발생 측면에서 기존 방식의 순산소 버너기술과는 다른 새로운 기술이 요구되어지고 있다.

순산소 버너를 사용한 유리용해로의 경우 연소 효율과 생산성을 고려한 경제성을 최적화하기 위한 요소들로 버너와 로 설계, 산소 분리 기술, 시스템의 운전 및 고온 분위기에서의 유지보수 및 내화재 선정 등 여러 가지 요소가 있다. 이 중 순산소 버너 설계는 고온의 화염을 구성하는 매체로서 연소 효율 및 생산성과 로의 유지 보수에 직접적으로 가장 큰 영향을 미치는 요소이다 [3-12].

산소가 산화제로 첨가 될 경우 연소반응속도가 빨라짐에 따라 화염의 전파속도가 급격히 증가하고 기체연료의 연소에서 순산소를 사용할 경우 화염의 전파속도는 공기를 사용할 경우보다 거의 12배가량 증가한다. 또한 배기가스의 체적유량이 70%정도까지 감소[3]하며 이러한 효과들로 인해 순산소를 사용한 화염은 화염 영역의 체적이 비교적 작은 화염이 구성된다. 이런 특징은 비교적 작은 체적의 로 내에서는 높고 고른 온도분포를 보이나 보다 큰 체적의 로 내에서는 로내 온도 분포에 있어 크게 효과적이지 않다. 이에 따라 본 연구에서는 순산소를 사용한 고온 화염의 구성과 용해로의 특성상 고온의 고른 로 내 온도 분포를 획득하기 위한 두 가지의 버너설계안을 제시하고 연소조건별 실험을 통해 버너설계에 따른 화염 및 로 내 온도분포특성에 관한 평가결과를 제시하고자 한다.

2. 순산소 버너설계의 이론적 검토

연소과정에서 산화제로 공기를 대체한 산소의 사용은 연소반응(Combustion Reaction)을 촉진시킨다. 이에 따른 가장 주요한 효과는 같은 부하와 공연비에서의 공기 버너 화염과 비교할 때 화염의 체적이 크게 감소한다. 이러한 화염 체적의 감소는 로 내에서 국부적인 가열이 일어나게 되고 유리용해로의 경우 피 가열물의 생산성저하와 품질저하로 이어지게 된다.

따라서 화염의 길이와 체적을 증가시켜 피 가열물에 대한 고온 영역의 접촉성(Flame Coverage)을 높이는 열전달 효과로 인해 시스템의 효율을 증가시키고 로 벽으로의 국부적인 고온 가열영역을 줄이는 것이 필요하다. 또한, 화염의 축 방향 운동량이 크지 않을 경우 화염의 부상으로 인한 로 상부(Furnace Crown)의 집중적인 가열이 이루어져 로의 유지 보수에 심각한 문제점이 야기될 수 있으므로 유속에 관한 고려가

필요하다.

위와 같은 조건에 따른 순산소 버너의 설계 원리 및 방안은 다음 두 가지로 정리된다.

2.1 고 운동량 순산소 버너

고 운동량 순산소 버너(High Momentum Oxy Burner)는 환형의 tube-in-tube[3]의 버너형태로서 중앙의 연료노즐에서 연료가 분사되고 화염 선단에서 연료와 산소의 빠른 혼합과 높은 축방향 운동량을 가지게 되는 제트 화염이 구성된다. 이와 같은 버너형태에서 화염의 특성에 영향을 미치는 주 변수는 연료와 산소의 유속과 이들의 상대속도, 그리고 노즐의 형상이며, 이러한 변수들은 연료와 산소의 혼합율과 축방향 운동량에 영향을 미친다. 연료와 산소의 혼합율이 증가함에 따라 보다 짧고 반응속도가 빠른 화염이 형성되는 한편 화염의 휘도(Luminosity)는 감소되고, 축방향 운동량이 클수록 화염의 길이가 증가한다.

연료와 산소의 혼합율에 영향을 미치는 가장 큰 변수는 이들의 상대속도이고 축방향 운동량에 영향을 미치는 변수는 절대속도와 노즐의 형상이다. 연료와 산화제의 절대속도 및 상대속도가 클수록 혼합율과 축방향 운동량이 증가하게 되고, 이에 따라 화염의 후류가 로 상부로 향하지 않으면서 긴 화염 길이를 유지하여 비교적 작은 규모의 로내에서 고온의 고른 온도분포 효과를 나타낼 수 있고 높은 유속으로 인한 화염 주위의 대류 열전달 효과를 촉진시킬 수 있는 반면 연료와 산화제의 급속한 혼합효과로 인해 화염의 휘도가 감소하여 복사 열전달의 효과가 감소하는 단점이 있다.

2.2 저 운동량 순산소 버너

넓은 영역에서 높은 휘도를 나타내는 화염을 구성하는 버너 설계 개념 중의 하나는 연료와 산화제의 혼합률을 제어하는 것이다. 순산소 화염에서 초기 혼합율의 감소는 연료의 열분해(pyrolysis)와 soot 입자의 생성을 촉진시킨다. 이를 위해 버너 선단 근처에서 연료의 흐름이 산소와 반응하지 않는 고온영역에서의 체류시간 증가가 이루어지는 설계가 필요하다. 이러한 개념은 버너 선단에서의 soot생성을 촉진하게 되고 이는 효과적이고 균일한 복사열전달의 매개체이다.

따라서, soot생성을 통한 높은 휘도의 화염을 구성하기 위해 가능한 한 큰 Aspect Ratio를 가지는 사각형 형상의 버너를 통해 평면 제트 화염(Flat Jet Flame)을 형성[3]하게 되며, 이러한 화염은 피가열물에 가장 가까운 유동의 전단층에 산소공급이 용이하며, 이에 따른 Differential momentum으로 인해 화염이 피 가열물 방향으로

항함에 따라 화염 자체의 혼합을 감소에 따른 복사열전달의 효과가 더욱 극대화 된다. 이러한 화염은 복사 열전달에 의한 열방출 영역이 로내 표면에 걸쳐 넓게 분포하고, 유동의 운동량이 상당히 느림으로 인해 화염의 후류가 로 상부로 항함에 따른 로상부의 국부적인 가열영역이 존재하여 로의 유지 보수에 문제점을 일으킬 수 있다.

3. 실험 장치 및 방법

위와 같은 순산소 버너의 설계 개념에 따라 본 연구에서는 동축 제트 버너(Annular Jet Burner) 및 Pilot Scale의 평면 제트 버너(Flat Jet Burner)를 설계 제작하였으며, 각 버너에 관한 설계 개념 및 형상과 연소시스템은 다음과 같이 구성되었다.

3.1 버너

3.1.1 고 운동량 동축 제트 버너

본 연구에 사용된 동축 제트 버너는 최대 열용량 50,000 kcal/hr 로 설계되었다. 순산소 버너는 기존의 공기를 이용한 버너보다 체적유량이 적기 때문에 상대적으로 이로 인한 운동량이 줄어든다. 따라서, 운동량의 감소로 인해 연료와 산화제의 혼합율이 감소하게 된다. 이러한 혼합율의 감소를 야기시키는 운동량의 감소를 보상하기 위해서 버너의 선단에서 산소 유동의 높은 속도를 얻을 수 있도록 설계를 하였으며, Fig. 1에서 보는 바와 같이 노즐 선단에서 보다 급속한 연료와 산소의 혼합을 촉진하기 위해 내부 선회형식의 선회기를 연료 노즐의 출구 직전에 설치하였다. 이는 선회 화염을 구성하는 목적이 아니라 연료 노즐 선단에서 혼합율을 더욱 증가 시키는 데 목적이 있고 버너 출구에서 산소 유동의 축방향 운동량이 매우 크므로 기본적으로 버너에서의 화염은 제트 화염을 구성하게 된다. 연료 노즐은 단공 노즐과 다공 노즐을 사용하였으며 다공 노즐은 1.2mm의 직경으로 8개를 가지며 분무각도는 90°를 이룬다. 연료와 산화제인 산소의 출구 평균 속도는 62 m/s, 40 m/s가 되도록 설계되었으며, 선회기의 각도가 각각 15°, 30°, 45°인 선회기를 사용하여 연료와 산소의 초기 혼합율을 증진시키는 효과를 얻었다.

3.1.2 저 운동량 평면 제트 버너

본 연구에 사용된 평면 제트 버너는 최대 열용량 300,000 kcal/hr 로 설계되었다. 연료와 산소의 절대 유속 및 상대 유속 감소에 따른 축 방향 운동량의 감소와 유리 용해로와 같이 넓은 면적을 가열해야 하는 경우처럼 화염의 폭을 증가시켜

복사 열전달의 효과를 증대시킬 수 있도록 Fig. 2와 같이 다수의 일자형태로 연료 노즐을 배치하고 그 상, 하부에 슬릿 형태의 산화제 출구부를 위치하여 평면 화염을 구성하게 된다.

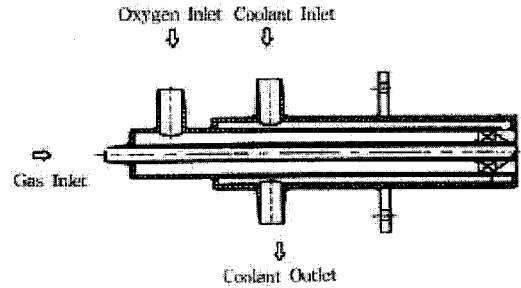


Fig. 1 Schematic of Annular Jet Burner

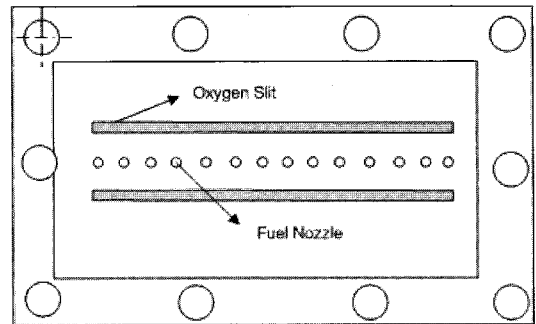


Fig. 2 Schematic of Flat Jet Burner

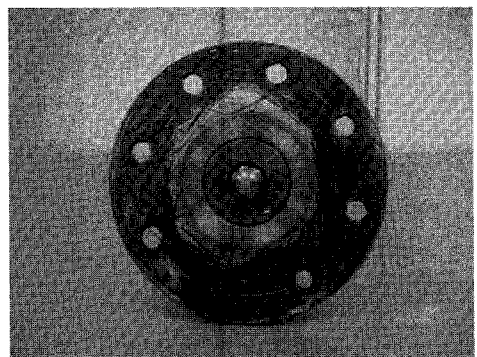


Fig. 3 Picture of Annular Jet Burner

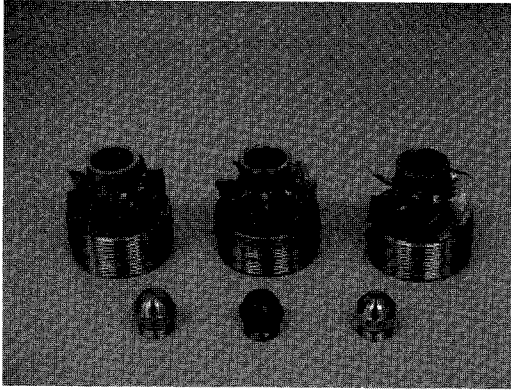


Fig. 4 Picture of swirler and nozzle

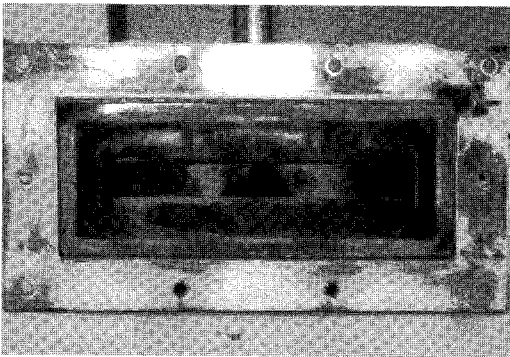


Fig. 5 Picture of Flat Jet Burner

3.2 실험용 유리 용해로 연소시스템

동축 제트 버너를 이용한 연소로의 경우 Fig. 6에서 나타나는 바와 같이 1200 mm(L)×800 mm(W)×800 mm(H)의 치수를 가진 직육면체 형상으로 로의 내부는 단열 캐스터블과 화염 캐스터블에 의해 이중 내화재로 처리되어 있다. 그리고 로 내부의 관측을 위한 관측창이 로의 측면에 3개의 주관측창과 4개의 부관측창이 부착되어 있으며 고온에서 견딜 수 있도록 고온 강화유리를 이용하였다. 로의 상부 벽에는 연소과정중의 온도 계측을 위한 열전대를 로 내부에 투입할 수 있는 계측부 6개를 두었다.

온도의 계측은 축 방향으로 연소기의 노즐 끝에서 30, 160, 290, 420, 550, 680 mm 지점에서 로의 중심축에서부터 반경방향으로 0, 50, 100, 150, 200 mm로 이동하며 R-type(0~1450℃)과 몰리브덴으로 실링이 된 C-type(0~2200℃) 열전대로 계측을 실행하였다.

평면 제트 버너를 이용한 연소시스템의 경우 아래의 Fig. 7에서 보는 바와 같이 버너는 1000

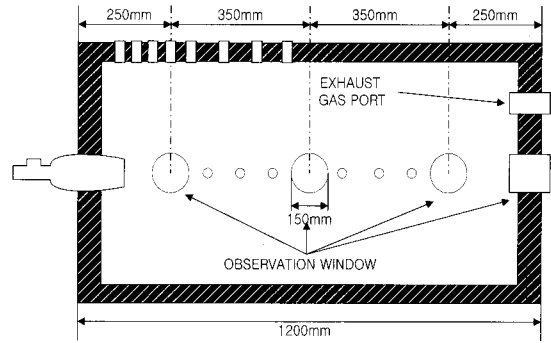


Fig. 6 Schematic of test furnace on Annular Jet burner

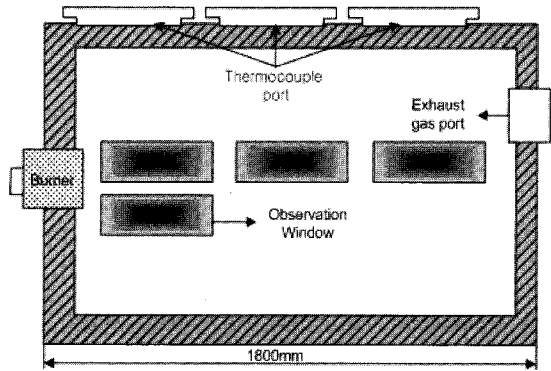


Fig. 7 Schematic of test furnace on Flat Jet Burner

mm(L)×1800 mm(W)×800 mm(H)의 치수를 가진 직육면체 형상의 로의 측면에 설치되어 있고, 로의 내부는 동축 제트 버너의 실험로와 마찬가지로 내부를 단열 캐스터블과 화염 캐스터블에 의해 이중 내화재로 처리하였다. 로 내부의 관측을 위해 로의 측면에 8개의 주 관측창과 로의 전후면에 부 관측창이 2개가 부착되어 있고, 고온에서 견딜 수 있도록 고온 강화유리를 이용하였다. 로의 상부 및 측면에 온도 계측을 위한 열전대 투입구를 설치하였다. 온도분포는 로의 중심축을 따라 축방향 위치 95 cm 위치에서의 온도분포를 로의 중심에서 폭 방향으로 계측을 하였으며, 또한 로의 중심축에서 상, 하부 30 cm 지점의 온도를 계측하였다. 평면 제트 버너의 특성상 화염의 부상에 따른 로 내부 온도특성을 고찰하기 위해 버너 부착 각도를 로 하단부로 8° 기울기를 가진 Quarl과 기울기를 가지지 않은 0° Quarl을 가지고 화염 유동의 각도를 조절 하였다.

본 연구의 실험 변수는 아래 표. 1 및 2와 같다.

Table 1 Experimental Conditions

parameter	Condition	
Heat Input(Q)	30000kcal/hr, 50000kcal/hr	
Excess oxygen ratio (λ)	1.0 /1.2	
Nozzle exit velocity (v)	Fuel(LPG)	40m/s
	O ₂	62m/s
Nozzle type	single-hole	고속 2.7mm
		저속 3.7mm
	multi-hole	1.2mm
Swirl angle(θ)	45°	
multi-hole spray Angle	60°	

Table 2 Experimental Conditions

Parameter	Condition
Excess Oxygen Ratio	1.0 / 1.05 / 1.1 / 1.15
Quarl Angle	0° / 8°

4. 실험결과 및 고찰

4.1 고 운동량 동축 제트 버너

순산소를 이용한 동축 제트 버너 화염의 운동량 변화에 따른 화염 및 로 내 온도 특성을 화염 중심부에서 반경방향으로 측정하고 이를 고찰하기 위해 연료 노즐을 저속의 단공 노즐과 고속의 단공 노즐, 그리고 다공 노즐을 각각 적용하여 열부하 30000kcal/hr와 50000kcal/hr에서 과잉산소비 1.0과 1.2의 경우를 비교 분석 하였다. Fig. 8에서 Fig. 11에 나타나는 바와 같이 단공 저속 노즐의 경우 단공 고속 노즐에 비해 상대적으로 낮은 속도로 공급되고 이 낮은 속도는 곧 연료의 운동량의 감소로 이어져 고속노즐에 비해 연료와 산소의 상대속도차가 크다. 이러한 상대속도차로 인해 연료와 산소의 혼합이 고속노즐에 비해 좀 더 빨리 일어나는 혼합특성을 보이며 이에 따라 고온의 화염영역이 버너 노즐 출구로부터 축방향으로 42cm 위치의 화염 중앙부에 형성되며 단공 고속 노즐의 경우 이 보다 좀 더 화염의 후류부근인 42cm 이후에서 최고 화염온도가 계속되었다. 또한, 연료 유속이 클 경우 화염의 최고 온도 및 전체적인 화염의 온도 분포가 저속 노즐의 경우 보다 높은 경향을 나타내었다.

Figure 12에서 15는 다공 노즐을 적용하였을 경우의 온도분포를 나타낸 것이다. 단공 노즐과

달리 다공노즐은 유동특성이 확연히 달라지며 그로 인해 온도 분포도 앞서 살펴본 결과와 다른 특성을 보이고 있다. 다공 노즐 적용 시 열부하 30000kcal/hr의 경우 축방향 위치 3cm 부근에서 최고온도가 계속되고 그 이후로 급격하게 감소되는 온도분포가 나타남을 볼 수 있다. 열부하 50000kcal/hr의 경우 최고온도 지점이 이동하여 축방향 위치 16cm 위치에서 최고 온도를 나타내고 있다. 이는 다공 노즐의 분사각이 60°로 단공 노즐에 비해 축방향의 연료 유속이 감소하여 연료와 산소의 축 방향 상대유속차가 줄어들어 따라 산소의 선회 유동에 의해 화염 선단에서 내부 재순환에 의한 연료와 산소의 혼합특성이 증가함에 따른 것으로 판단된다. 그러므로, 다공노즐의 경우 단공노즐에 비해 화염 길이에 비한 화염의 최고 온도 지점이 보다 노즐 근처 지점에서 나타나 연료와 산소의 좀더 빠른 혼합특성을 보인다고 할 수 있으나 화염의 길이가 축소되고 화염의 폭도 커져 화염 및 로 내 온도 분포의 구배가 비교적 크게 나타난다.

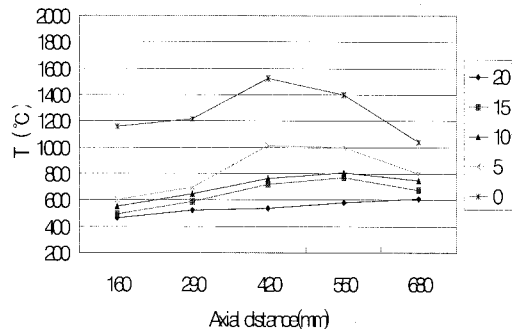


Fig. 8 Q=50000kcal/hr, Single hole low velocity nozzle, $\lambda=1.0$

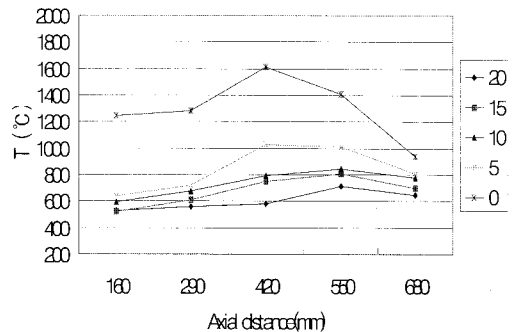


Fig. 9 Q=50000kcal/hr, Single hole low velocity nozzle, $\lambda=1.2$

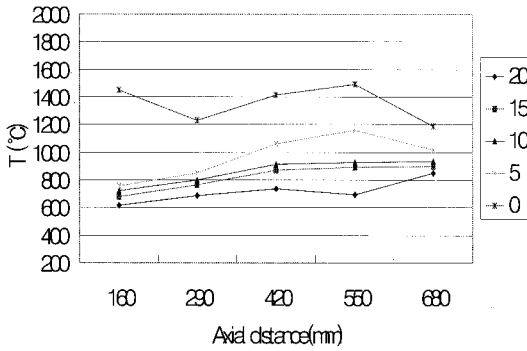


Fig. 10 Q=50000kcal/hr, Single hole High velocity nozzle, $\lambda=1.0$

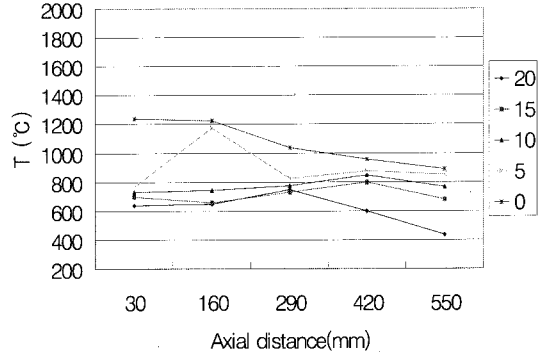


Fig. 13 Q=30000kcal/hr, Multi hole nozzle, $\lambda=1.2$

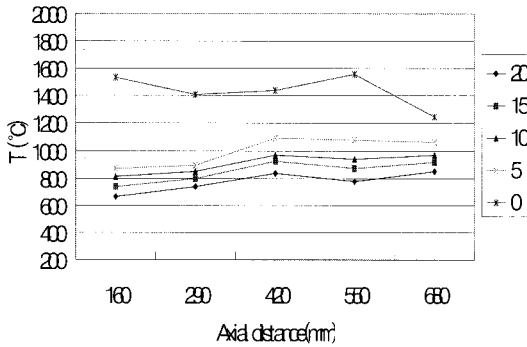


Fig. 11 Q=50000kcal/hr, Single hole High velocity nozzle, $\lambda=1.2$

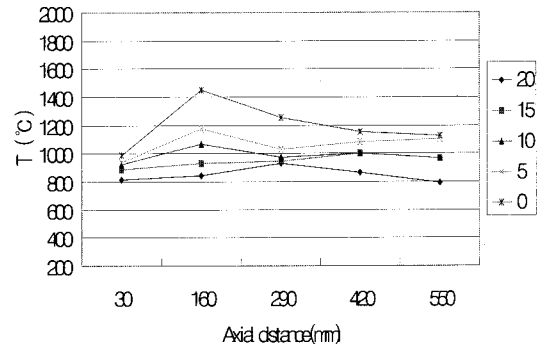


Fig. 14 Q=50000kcal/hr, Multi hole nozzle, $\lambda=1.0$

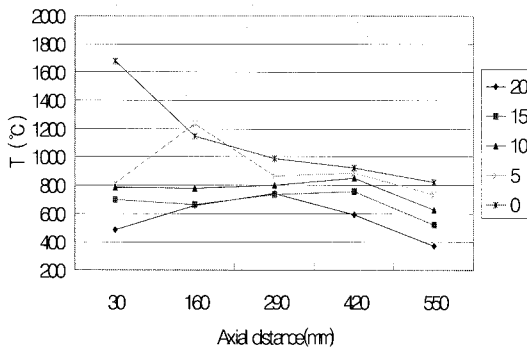


Fig. 12 Q=30000kcal/hr, Multi hole nozzle, $\lambda=1.0$

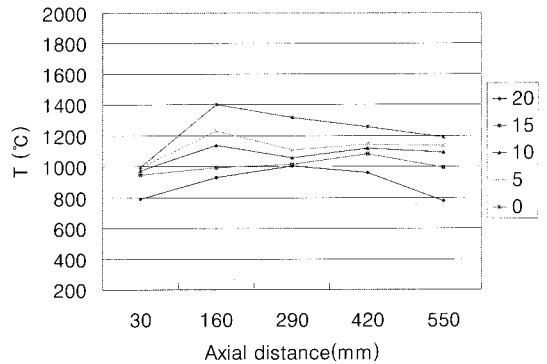


Fig. 15 Q=50000kcal/hr, Multi hole nozzle, $\lambda=1.2$

4.2 저 운동량 평면 제트 버너

Figure 16에서 21은 과잉 산소비에 따라 직접적인 화염온도가 아닌 로 내 중심부와 상하부의 온도분포를 나타낸 그래프이다. 로 내의 전체적인 온도 분포는 과잉 산소량 0%에서 15%의 범위에서 열부하 200000kcal/h에 대해 0°Quarl과 8°Quarl의 경우를 비교 측정하였다.

Figure 16과 17에서 보는 바와 같이 화염 근처의 로 내 중심부 온도 분포에 있어서 사각형태로의 폭방향으로 갈수록 최고 온도와 최저 온도 차이가 과잉공기비에 따라 약 100°C에서 150°C 정도의 온도 차이를 나타내는 반면 Fig. 18와 19에서 보이는 바와 같이 로 하부 영역에서의 폭방향 온도차이는 50°C 이내로 로 중심부에 비해 상대적으로 이러한 온도 분포의 기울기가 작아져 완만한 온도 구배를 나타내 평면 제트 버너형태의 연소기 사용 시 피 가열물이 위치하는 영역에서의 전반적인 로 내 온도 분포가 상당히 균일하게 나타남을 알 수 있으나 실질적으로 비교적 낮은 온도 분포를 보이고 있으므로 화염으로부터의 복사 열전달을 최대한 이용하는 연소기의 설계 개념 상 이러한 복사 열전달을 극대화하는 화염의 형성을 위해 연소기 출구 형상 및 연료와 산화제의 유속비에 관한 최적화가 이루어 질 수 있는 방안에 관한 지속적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

Quarl각도에 따른 로 내 온도 분포는 평면 제트버너의 화염 특성상 화염의 후류가 로 상부로 부상하게 되는 현상을 나타냄에 따라 로 하부의 온도 분포에 있어서 로 상부의 경우 0°Quarl 적용 시 로 내 온도 분포가 8°Quarl의 온도 분포보다 전반적으로 상당히 높게 나타나며, 폭 방향의 온도구배가 크게 나타난다. 즉, 0°Quarl을 적용하였을 경우 화염 후류의 부상으로 인한 로 내 상하부의 온도차가 크게 나타나는 반면 8°Quarl의 경우 전반적으로 로 내 폭 방향 및 상하부의 온도 분포가 상당히 균일하게 나타나는 것을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 동축 제트 버너와 평면 제트 버너를 설계하고 이 버너에 산화제로 순산소를 이용하여 여러 가지 변수들에 대해 로 내의 온도 분포에 대한 연구를 수행하였다. 위에서 제시한 두 가지 버너에 대한 결론을 열거하면 다음과 같다.

1) 동축 제트 버너에서 단공 저속 노즐의 경우 단공 고속 노즐 보다 낮은 연료 출구 속도로 인하여 초기혼합특성이 저해되어 화염의 고온 영역

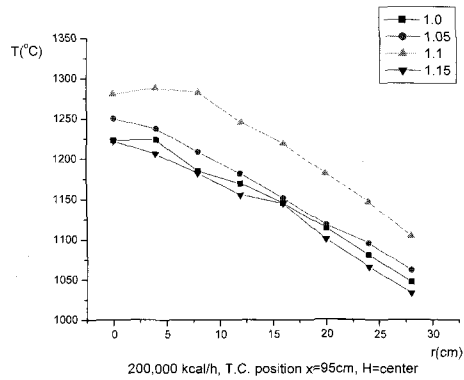


Fig. 16 Temp. distribution of quarl angle 0° H = centerline

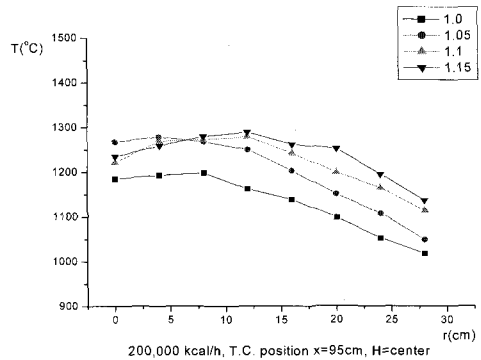


Fig. 17 Temp. distribution of quarl angle 8° H = centerline

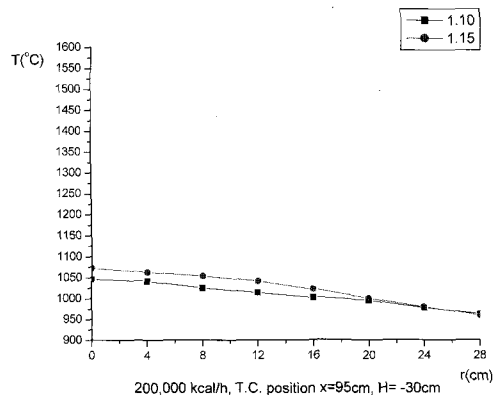


Fig. 18 Temp. distribution of quarl angle 0° H = -30cm

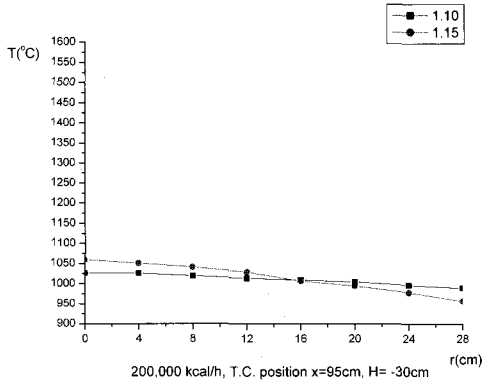


Fig. 19 Temp. distribution of quarl angle 8° H = -30cm

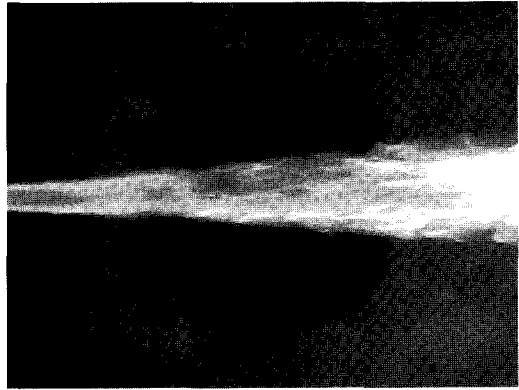


Fig. 22 Picture of single hole nozzle flame(side view)

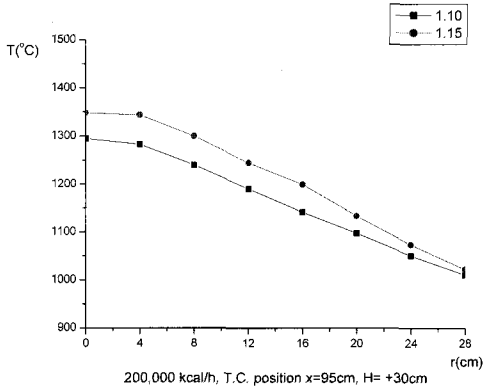


Fig. 20 Temp. distribution of quarl angle 0° H = +30cm

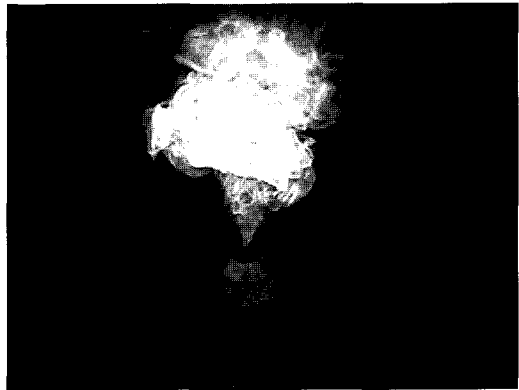


Fig. 23 Picture of single hole nozzle flame(front view)

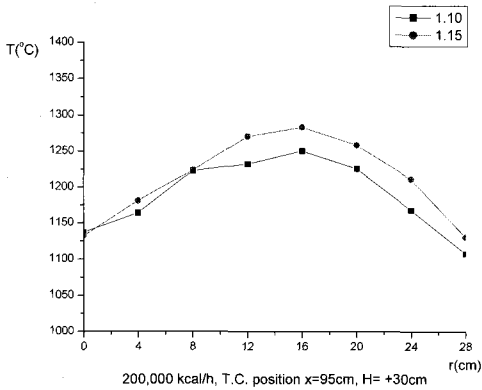


Fig. 21 Temp. distribution of quarl angle 8° H = +30cm

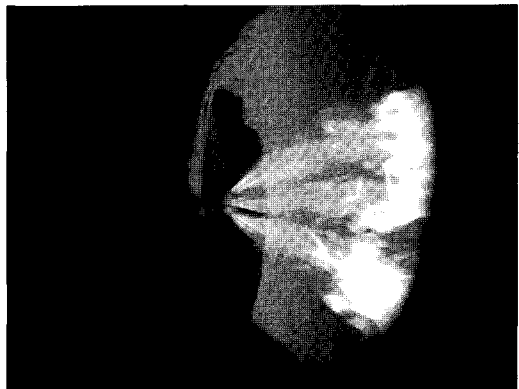


Fig. 24 Picture of multi hole nozzle flame(side view)

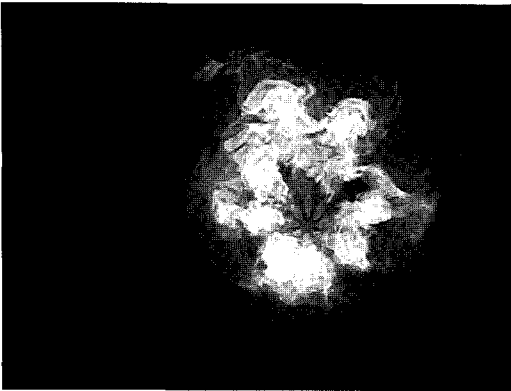


Fig. 25 Picture of multi hole nozzle flame(front view)



Fig. 26 Picture of flat jet flame(Quarl angle = 0°)

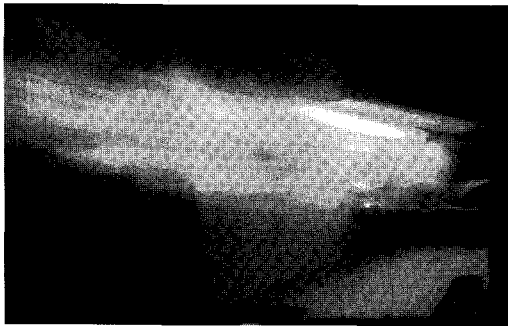


Fig. 27 Picture of flat jet flame(Quarl angle = 8°)

대가 화염 후류영역으로 나타나고 평균적인 화염 온도가 낮게 나타난다.

2) 동축 제트 버너에서 단공 고속 노즐의 경우 전반적인 유동의 운동량 증가로 인해 저속 제트 화염에 비해 초기 혼합특성이 양호하고 화염의 부상이 일어나지 않은 상태에서 고온의 긴 화염이 형성되었다.

3) 동축 제트 버너에서 다공 노즐의 경우 단공

노즐에 비해 화염 길이에 비한 화염의 최고 온도 지점이 보다 노즐 근처 지점에서 나타나 연료와 산소의 좀더 빠른 혼합특성을 보인다고 할 수 있으나 화염의 길이가 축소되고 화염의 폭도 커져 화염 및 로 내 온도 분포의 구배가 비교적 크게 나타난다.

5) 평면 제트 버너의 경우 Quarl 각도 0°를 이용할 시 화염 후류가 로 상부로 향하는 현상으로 인해 로 상하부의 수직 방향 온도 구배가 급격히 형성이 되나 8° Quarl의 적용 시 로의 폭 방향 및 수직 방향으로의 온도 구배가 보다 완만히 형성되어 0° Quarl의 경우 보다 안정적이고 고온 로 내 온도 분포를 이루었다.

6) 동축 제트 버너의 경우 평면 제트 버너에 비해 화염의 온도 구배가 크고 이에 따라 로내 온도 분포의 차이도 크게 나타나 현장에서의 적용 시 화염의 복사 열전달을 이용한 평면 제트 버너의 적용이 보다 유리할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 이산화탄소 저감 사업단의 지원으로 수행된 연구입니다.

참고문헌

- [1] Prince, B. and Alekander, G., 1994, "Clean Firing of Glass Furnaces Through the Use of Oxygen," Ceram. Eng. Sci. Proc., 15[2], pp. 159-174
- [2] Curtis L. Taylor, 1995, "Development of an Advanced, Low Emissions, Multifuel Oxygen Burner", Ceram. Eng. Sci. Proc. 16[2], pp. 169-178
- [3] Rifat Al-Chalabi et. al. 1995 "Flat-Flame Oxy-Fuel Burner Technology for Glass Melting", Ceram. Eng. Sci. Proc. 16[2], pp. 202-215
- [4] Marvin, G., 1997, "Philosophy, Design, and Performance of Oxy-Fuel Furnaces", Ceram. Eng. Sci. Proc., 18[1], pp. 1~14.
- [5] Baukal, C. and Dalton, A., 1990, "NOx Reduction with Oxygen-Fuel Combustion," AFRC Symposium, paper 18.
- [6] Brown, J., 1991, "100% Oxygen-Fuel Combustion for Glass Furnaces," Ceram. Eng. Sci. Proc. 12[3~4] 202.
- [7] Shamp, D. and Slavejkov, A., 1993, "Oxy-Fuel Firing for Emission Control on a Fiberglass Melter," Ceram. Eng. Sci. Proc., 14[3~4]

- [8] Ross, C. and Eleazer, P., 1993, "Glass: Challenges Pave Road to Opportunities," *Ceram. Ind.*, pp. 28
- [9] Jurick, B. and Schnepfer, C., 1996, "Geometric Considerations for Modeling Oxy-Fuel Glass Tanks," *Glass Ind.*, 77[4], pp. 28~30.
- [10] Carvaiho, M. and Nogueira, M., 1996, "Model-Based Evaluation of Oxy-Fuel Glass-Melting Furnaces Performance," *Ceram. Eng. Sci. Proc.*, 17[2], pp. 121~131.
- [11] Wu, M and Misra, M., 1996, "Design Modeling of Glass Furnaces Oxy-Fuel Conversion Using Three-Dimensional Combustion Models," *Ceram. Eng. Sci. Proc.*, 17[2], pp. 132~142.
- [12] Hoke, R. and Gershtein, V., 1995, "Coupling Combustion Space and Glass Melt Models Improves Predictions," *Am. Xeram. Soc. Bull.*, 74[11], pp.75~86.