

저발열량 가스 연소를 위한 선회연소시스템 개발

이시훈, 임영준, 현주수, 손영준, 천석현*, 한광조**
 한국에너지기술연구원 청정에너지연구부
 *에너지관리공단 기술개발본부
 **한성엠텍(주)

Development of cyclone combustion system for combustion of low calorific value gases(LCVG)

Si-hyun Lee, Young-jun Lim, Ju-soo Hyun, Young-jun Shon, Suk-hyun Chun* and Kwang-jo Han**

Clean Energy Research Department, Korea Institute of Energy Research
 *R&D Headquarter, Korea Energy Management Corporation
 **Han Sung M Tech Ltd.

1. 서론

저발열량 가스(LCVG : low calorific value gases)는 석탄 가스, coke oven gas, carbon black waste gas, 화학공정 폐가스, 휘발성 유기화합물(VOC) 등 다양하다. 발열량 150~2,000kcal/m³정도의 가스를 말하며 주요 조성은 H₂, CO, CH₄ 등이다. 화학공정 폐가스나 휘발성 유기물질 배출공정에서는 저농도(LEL25% 이하)의 유기물질이 주 조성이다.

저발열량 가스 연소의 특징은 high activation energy와 low energy output이라는 것이다. 이런 종류의 가스 연소는 연소가 어렵고 에너지가 많이 투입되어 고에너지 소비공정이 된다. Table 1에 주요 가연성 저발열량 가스의 종류와 특성을 나타내었다.

Table 1. Characteristics of low calorific gases.

	Carbon black waste gas (%)	Discharge cycle gases from coke ovens		Projected fuel composition from air blown lurgi gas process(%)
		Rich gas part of cycle(%)	Very lean gas part of cycle(%)	
O ₂	0	0.7	6.06	0
H ₂	6.02	2.4	2.4	19.6
CO ₂	2.76	3.4	3.4	13.3
N ₂	36.26	29.4	29.4	37.6
C ₂ H ₂	0.16	0	0	0
CH ₄	0.1	4.6	4.6	5.5
CO	6.3	4.6	4.6	13.9
H ₂ O	48.0	54.9	54.9	10.1
	CV 1.49MJ/m ³ (355 kcal/kg)	CV 5.0 MJ/m ³ (1,190kcal/kg) much of CV comes from tars and hydrocarbons	CV 0.744MJ/m ³ (177 kcal/kg)	CV 5.06MJ/m ³ (1,210 kcal/kg)
Stoichiometric air/fuel ratio	0.48	2.03	0	2.16

저발열량 가스의 문제점은 발열량이 낮아 화염 안정성이 낮고 자체 발열량으로 연소온도 유지가 어려워 보조연료의 사용량이 많다는 것이다. 이러한 물질을 효과적으로 연소하면 온실가스 발생을 감소시키는데 역할을 하게 될 것이다.

선회 연소시스템은 연소기 내에 강한 swirl flow를 만들어서 폐가스 연소를 위한 활성화에너지를 공급해주고 열밀도를 증가시키며 동일 입열량으로 고온의 연소온도를 유지하게 하는 고효율 연소시스템이다.

본 연구에서는 휘발성 유기물질을 대상으로 선회연소시스템을 적용하여 연소특성을 고찰하였다.

2., Cyclone Combustor

선회연소시스템은 고선회도 시스템으로 특징 지워지는데 이 경우 선회도는 다음과 같이 기하학적인 변수만으로 정의될 수 있다.

$$S = \frac{G_{\theta}}{G_x(D_e/2)} \quad (1)$$

여기서 G_{θ} 는 axial flux of angular momentum이며 G_x 는 axial flux of axial momentum이다. D_e 는 배출구의 직경이다.

저발열량 가스연소를 위해 해결하여야 하는 과제는 위에서 제시한 문제, 즉 연소를 위한 high activation energy를 어떻게 해결하느냐 하는 것이다. 이 문제의 해결책이 바로 internal energy circulation이 가능한 cyclone combustor이다.

Cyclone combustor 중에서 저발열량 가스 연소에 사용되는 두가지 형태의 연소기를 Fig. 1과 Fig. 2에 소개하였다. Fig. 1의 multi-inlet cyclone combustor는 가연성 가스 연소시 화염안정성과 압력손실을 최소화하기 위한 목적으로 긴 원통형의 chamber에 작은 구경의 inlet을 만들어 사용하는 경우이다. 특히 화염안정성에 장점을 갖고 있는 것으로 알려져 있으며 아르헨티나의 Agrest에 의해 채소류 연소를 위해 개발되었다. Fig. 2의 Swirl burner/furnace system은 coke oven gas 연소를 위해서 cyclone 연소기를 burner 형태로 개조한 것이다.

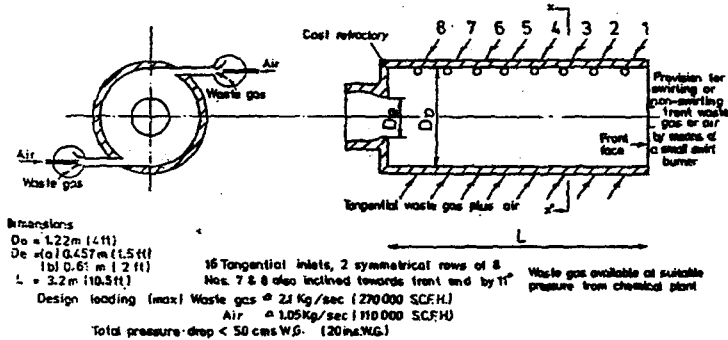


Fig. 1. Multi-inlet cyclone combustor[1].

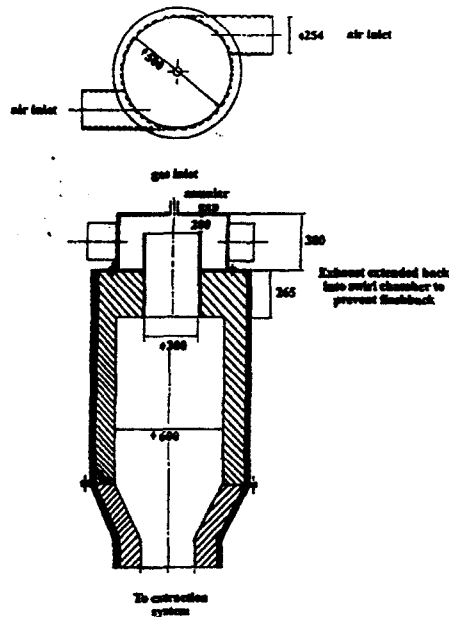


Fig. 2. Swirl burner/furnace system[1].

3. 실험

여러 종류의 VOC(방향족류, 알콜류, 케톤류)를 대상으로 하였다. 현재 국내에서는 석탄 가스화 가스나 coke oven gas, carbon black waste 가스를 대상으로 하기가 용이하지 않다. 기본 실험을 위한 가장 기본적인 형태의 cyclone combustor를 제작하였다. 연소실 내부용적은 70L로 하였으며 버너실과 연소기 exit 부분을 합치면 약 100L의 크기이다. VOC를 포함한 공기를 공기에열기(cross flow type)를 거쳐 버너실과 연소실로 주입되도록 하였다.

주변장치로는 cross flow type 열교환기와 폐가스(VOC) 발생장치, FD fan, ID fan, 동력측정장치, 가스 버너, 연소가스 측정장치, VOC 측정용 gas chromatograph, data acquisition system, 압력차 측정장치, 유량 측정용 orifice와 manometer 등을 설치하였다.

VOC의 농도(% LEL)와 풍량, 온도를 변화시켜 실험하였다. 선회도를 변화시키기 위해서는 inlet 부분의 단면적을 줄일 수 있는 piece를 제작하여 inlet 부분을 막도록 하여 실험하였다. VOC 농도 변화는 약 30L 규모의 용기에 대상 VOC를 채우고 bubbling 시키는 유량과 온도를 달리하여 제어하였다. 실험용 pilot plant를 Fig. 3에 나타내었다.

4. 결과 및 고찰

Swirl number 3에서 VOCs의 종류와 농도, 그리고 연소기의 버너실과 연소실로 유입되는 가스의 유량비를 변화시켜 실험한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) VOCs의 농도가 낮을수록 보다 강한 선회도가 요구되었다. 농도가 낮을수록 보다 긴밀한 혼합을 요구하기 때문이다.
- 2) 버너실과 연소실로 유입되는 가스의 유량비가 작을수록 즉, 버너실로 유입되는 유량이 클수록 연소기 전체의 온도분포는 균일하게 유지되었다. 연소실로 유입되는 flow의

Reynolds number가 증가할수록 혼합이 증가한다는 것을 의미한다.



Fig. 3. Pilot plant of cyclone combustor

3) 동일 농도(LEL)에서, 즉 동일 입열량에서 알콜류보다는 방향족 탄화수소의 연소성이 더 우수하였다.

4) 현재의 조건에서 압력손실은 약 10mmaq로 나타나 적은 압력손실을 보였다. 압력 손실은 선회도가 증가하면 증가할 것이다.

5) Swirl number 3의 최저 선회도에서 VOCs의 농도가 증가할수록(LEL 25% 까지) 전체 투입열량이 이론치보다 감소하여 고효율 선회연소기의 특징을 보여주었다. 이는 향후 선회도 증가 시험에서 낮은 농도의 VOCs에 적용될 가능성이 커서 에너지 절약효과가 크게 나타날 것으로 예측되는 결과이다.

본 논문에서는 선회도 증가에 따른 압력손실과 이에 따른 소요동력, 그리고 보조연료 사용량의 변화등에 대한 정량적 자료가 제시될 것이다.

감사

본 연구는 에너지관리공단에서 지원하는 에너지절약기술개발사업으로 수행되었음을 밝힌다.

참고문헌

1. Syred, N., Griffith, A.J. and Fick, W., Proceedings of International Symposium on Incineration & Flue Gas Treatment Technologies, Sheffield University, UK, 1/17, 1997