

RDF 유동층 연소시 Cl의 거동

이혜문* · 곽연호* · 김우현*

Chlorine behavior during fluidized bed combustion of RDF

H. M. Lee, Y. H. Kak and W. H. Kim

Key Words: fluidized bed combustion, RDF, behavior of chlorine

Abstract

The behavior of Cl is important to prevent HCl exhausted by incineration of RDF. Because RDF is composed of municipal wastes, its calorific value is very various. Thus components of RDF are to be analyzed and elemental analyze and calorific value are to be done. And in order to find the behavior of Cl during RDF combustion, Cl included in exhaust gas and ash is captured and analyzed. RDF which made by municipal and $\text{Ca}(\text{OH})_2$ with regular ratio($\text{Ca}/0.5\text{Cl}$) is incinerated in fluidized bed combustor. Cl included in exhaust gas and fly ash is captured and analyzed. Finally the change of Cl concentration included in exhaust gas and ash is analyzed and the behavior of Cl is investigated.

기호설명

- V. : Volatile matter
F.C. : Fixed Carbon
Hh : High calorific value.
Hl : Low calorific value

1. 서 론

생활 폐기물에는 종이, 합성수지, 플라스틱 등 발열량이 높은 물질들이 상당량 포함되어 있어 연소를 이용하여 폐기

물의 처리 및 에너지 절감과 같은 이점을 얻을 수 있으나 균일하지 못한 구성 성분으로 인하여 안정한 연소상태 및 연료의 기능을 발휘하기 어려웠다. 이러한 문제를 해결하기 위해 RDF(Refuse Derived Fuel)인 폐기물 고체연료가 개발됐다. RDF는 5500kcal/kg이상의 높은 발열량을 지닌다는 장점을 지니고 있으나 RDF를 구성하는 종이, 폐플라스틱 등의 물질은 많은 양의 Cl을 함유하고 있어 연소 시 HCl로 배출되어 인체에 유해한 영향을 미칠뿐 아니라 산업설비의 부식 촉진, 산성비의 원인 등 많은 문제점을 지닌다^{1), 2)}. 그러므로 본 연구에서는 RDF 연소 시 높은 농도로 발생할 수 있

* 한국기계연구원 열유체환경연구부

는 HCl을 저감하기 위한 방법을 모색하고자, 유동층 연소로를 이용한 RDF 연소 시 그 안에 함유되어 있는 Cl의 거동을 파악하고자 하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

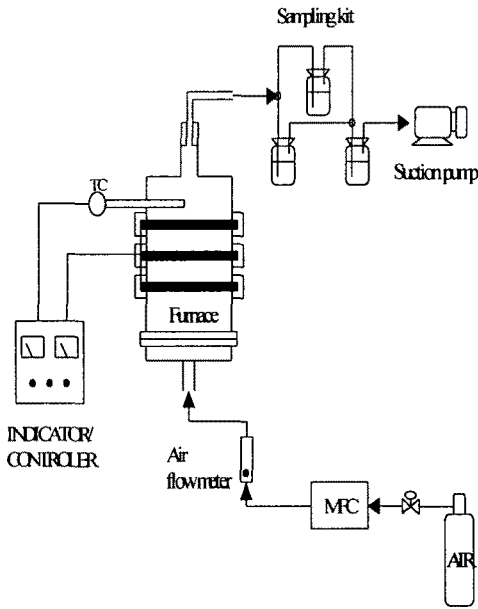


Fig. 1 Schematic diagram of Cl capture.

그림 1은 RDF에 존재하는 Cl의 농도와 연소과정을 통한 Cl의 거동을 살펴보기 위한 기초실험장치이다. 가열방식은 SiC발열체를 이용한 전기로 방식이며, 연소에 필요한 공기는 하부의 분산판을 통해 MFC로 일정량 주입된다. 연소상태에서 발생하는 가스의 누출을 방지하기 위해 연소배출가스는 배관을 통해 전량 sampling kit으로 흡수될 수 있

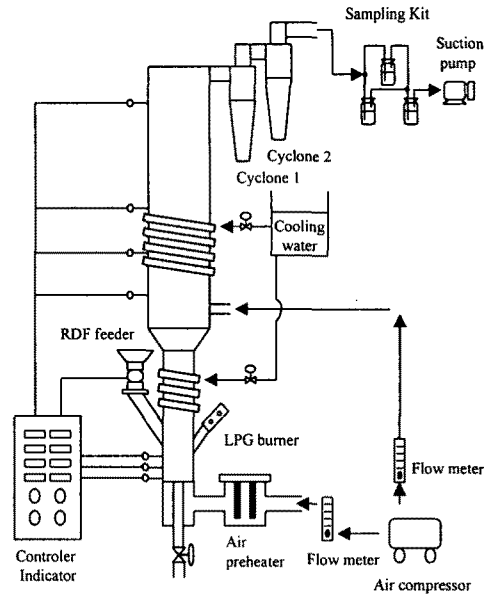


Fig. 2 Fluidized bed combustor for RDF combustion.

게 하였다. 그림 2는 5kg/hr의 RDF를 연소할 수 있는 능력을 지닌 유동층 연소로를 나타낸 것이다. 유동층 연소로에는 pre-heater를 통해 약 100℃로 가열된 유동화공기가 2.76%의 공극율을 지닌 분산판을 통하여 공급되며, 2차 연소에 필요한 공기는 free board에서 선회류를 통한 혼합효과를 크게 하기위하여 로벽의 접선방향으로 120° 간격을 유지하며 3곳으로 주입할 수 있도록 하였다. 또한 초기 유동사 가열을 위하여 최고 8000kcal 용량을 지닌 LPG pilot burner를 사용하였으며, RDF공급은 회전수를 조절할 수 있도록 제작한 rotary feeder를 사용하였다. 그리고 고온에 의한 유동사의 소결 현상과 free board부의 과열을 방지하기 위해 유동층 소각로 하부와 상부에 스테인레스 튜브를 2중으로 감아 냉각수를 공급할 수 있도록 하였다.

2.2 실험방법

RDF는 폐기물을 재료로하여 만든 재생연료이므로 그 성상과 발열량이 일정하지 않아 연소특성을 파악하기가 쉽지 않다. 그러므로 본 연구에서는 구성비가 일정하도록 엄격한 선별작업을 수행하고 직경 10mm의 RDF를 제조하였다. 그리고 제조된 RDF의 원소 및 발열량 또한 일정해야 안정한 연소상태를 유지할 수 있으므로 제조된 10개의 RDF 샘플을 무작위적으로 추출하여 LECO사의 발열량분석계를 사용하여 발열량을 분석하였으며, CE instruments사의 elemental analyzer로 원소분석을 수행하였다. 또한 그 중 5개의 sample에 대해서는 공업분석을 수행하여 RDF가 함유하고 있는 수분, 휘발분, 고정탄소 및 회재의 양을 분석하였다. 이러한 자료를 바탕으로 RDF연소에 필요한 공기량 및 발생 연소가스량을 구하였다. RDF내에 함유되어 있는 CI의 양과 연소시 CI의 거동을 조사하기 위해 약 5g의 RDF를 전기로에 공급한 후 승온속도 20.5℃/min, 연소공기 주입량 500 ml/min인 조건에서 800℃로 가열하고 50분 이상 유지하며 연소시작단계부터 종료단계까지 135분간 2ℓ/min의 유량으로 0.1N NaOH 흡수액에 연소가스 중에 함유되어 있는 CI을 포집하였다. 또한 연소 후 잔재는 초순수로 세정하여 CI을 추출한 후 포집된 CI을 Ion Chromatography로 분석하였다. 연소시 발생하는 HCl의 제어방법으로 Ca(OH)₂나 CaO와 같은 Ca함유물질을 사용한다^(2, 3). 그러므로 본 연구에서는 RDF제조과정에 Ca(OH)₂를 첨가하여 Ca/0.5CI의 비가 0, 1, 1.5, 2, 3, 5인 RDF를 제조한 후 실질적인 연소시 CI의 거동변화를 살펴보기 위하여, 분산

판으로 공급되는 1차 연소공기를 500ℓ/min, free board로 반응기와 접선방향으로 공급되는 2차 연소공기를 300ℓ/min, 유동층 온도를 800~850℃로 유지하며 RDF를 연소하였고, 배출되는 연소가스를 2ℓ/min의 양으로 3분간 0.1N NaOH용액에 포집하였으며, 연소시 배출된 소각재는 비산재만을 cyclone에서 포집한 후 초순수로 씻어 기초실험과 같은 방법으로 CI을 분석하였다.

3장 결과 및 고찰

2.1. RDF 특성

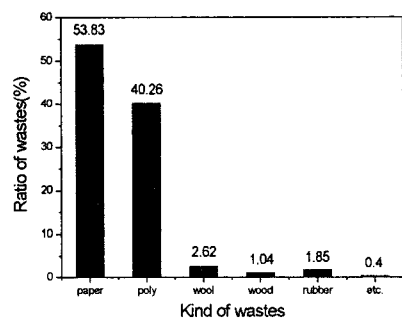


Fig. 3 Components of MSW.

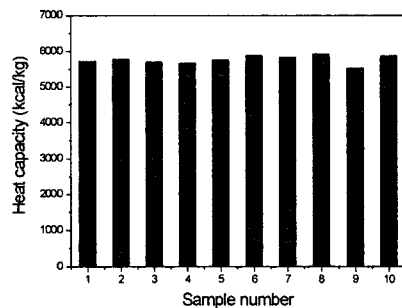


Fig. 4 Heat capacity of RDF.

RDF 제조에 사용된 생활폐기물의 구성을 그림 3에 나타내었다. 그림 4는

생활폐기물로 제조한 RDF의 발열량분포를 나타낸 것이다. RDF를 주로 구성하고 있는 물질은 CI을 다량 함유하고, 발열량이 높은 종이와 플라스틱, 합성수지계열이 90%이상을 차지하고 있어 5500kcal/kg 이상의 높은 발열량을 보였으며, 연소시 CI의 거동에 따라 연소가스에 높은 농도의 HCl이 존재할 수 있다. 표1은 RDF의 공업분석 및 원소분석을 수행한 결과로서 휘발분이 79%로 연소로 투입시 고정탄소에 의한 연소보다는 빠른 가스화의 진행으로 인한 연소가 발생하여 연소속도가 상당히 빠를 것으로 판단된다.

Table 1. Composition of RDF.

	1	2	3	4	5	AVG.
	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)
H ₂ O	4.0	3.0	5.0	2.0	6.0	4.0
V.	81.0	82.2	76.0	79.0	77.0	79.0
F.C.	5.0	4.0	8.0	8.0	10.0	7.0
Ash	10.0	10.9	11.0	11.0	7.0	10.0
	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)
C	51.6	51.98	52.83	51.08	55.34	52.56
H	8.2	7.97	8.17	7.38	8.00	7.94
O	26.7	29.48	26.62	29.61	28.43	28.17
N	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
S	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ash	10.0	10.9	11.0	11.0	7.0	10.0
H ₂ O	4.0	3.0	5.0	2.0	6.0	4.0
Hh	5826.7	5671.2	5930.5	5392.1	5998.8	5763.8
Hl	5361.7	5223.0	5459.3	4981.6	5530.8	5311.2

2.2. 전기로 연소 시 RDF내 CI 거동

RDF에 함유되어 있는 CI의 총량과 연소상태를 거치면 CI이 어떤 상태로 존재하게 되는지 살펴보기 위하여 RDF를 전기로에 연소시켜 배출가스와 연소잔재에 함유되어 있는 CI을 분석하였다. 표 2는 배출가스와 연소잔재에 함유되어 있는 CI 농도를 나타낸 것이다. RDF에 함

유되어 있는 CI의 함유량을 살펴보면 2.0%, 1.4%, 1.78%로 비교적 높은 함유율을 보였으며, 연소시 배출되는 가스와 연소잔재에 함유되어 있는 CI은 RDF에 함유되어 있는 CI의 25~34%가 배출가스에 함유되어 있었으며, 65~74%가 연소잔재에 함유되어 있어 연소시 H와 반응하여 HCl을 형성하는 양보다 연소잔재에 또 다른 형태로 존재하는 양이 많음을 알 수 있었다.

Table 2. Concentration of CI in RDF.

RDF(g)		CI(mg)	CI(%)	Percent of CI in RDF (%)
4.97	Ex. gas	30.0	30.3	2.00
	Ash	69.0	69.7	
4.63	Ex. gas	16.8	25.9	1.40
	Ash	48.0	74.1	
5.47	Ex. gas	33.3	34.2	1.78
	Ash	64.0	65.8	

2.3. RDF 유동층 연소 시 CI 거동

RDF 연소 시 배출될 수 있는 HCl의 저감을 위해 Ca(OH)₂를 RDF 제조과정에서 Ca/0.5CI의 비가 1, 1.5, 2, 3, 5로 하여 제조한 후 유동층 연소로에서 5kg/hr의 RDF를 연소하며 배출가스와 연소 부산재에 함유되어 있는 CI을 분석하여 거동을 살펴보았다. 그림 5는 연소배출가스와 소각 잔재에 함유되어 있는 CI을 나타낸 것이다. 연소 배출가스에 함유되어 있는 CI의 양은 Ca/0.5CI이 1.5로 증가할 때까지 급격히 감소하다 1.5 이상인 조건에서는 CI의 농도변화가 없는 것을 볼 수 있었다. 비산재에 함유되어 있는 CI의 양은 Ca/0.5CI이 증가할 때 증가하는 경향을 보였으나, 일정량 이상 증가하는 경향은 보이지 않았다. 이러한 결과를 볼 때 유동층 연소로를 이용한 RDF연소시 HCl 제거를 위한 Ca(OH)₂ 첨가하는 양이 증가되면 일정단계까지는 HCl 제

거효율이 높아지나 그 이상의 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 를 공급한다 해도 제거효율은 증가하지 않는다. 본 연구를 통해서도 $\text{Ca}/0.5\text{Cl}$ 의 값이 1.5까지는 배출가스 중에 함유되어 있는 Cl을 비산재에 CaCl_2 와 같은 물질로 포획이 가능하나 그 이상의 당량비에서는 별다른 효율의 변화를 보이지 않았다.

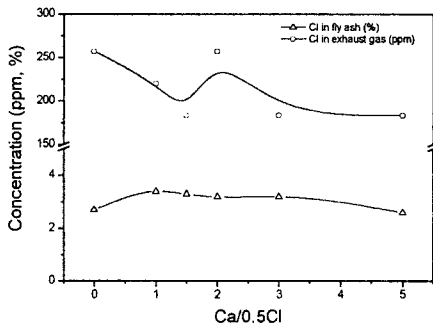


Fig. 5 Cl concentration in exhaust gas and fly ash

3. 결론

1. RDF를 구성하는 물질은 종이, 나무, 폐플라스틱 등이 90%이상을 차지하고 있어 5500kcal/kg 이상의 높은 발열량을 보였다.

2. RDF를 휘발성물질이 약 79%를 차지하여 상당히 빠른 연소속도를 보일 것으로 판단된다.

3. RDF는 다량의 Cl을 함유하고 있는 종이, 나무, 플라스틱이 주를 이루고 있어 약 1.4~2.0%의 높은 Cl 함유량을 지니고 있었다.

4. RDF 연소시 Cl 거동을 살펴본 결과 약 30%의 Cl은 배출가스에, 약 70%의 Cl이 연소후 잔재에 존재하였다.

5. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 를 첨가한 RDF의 유동층

연소시험 결과 $\text{Ca}/0.5\text{Cl}$ 값이 일정량 증가할 때 배출가스에 함유된 Cl의 농도는 감소하고 연소배산재의 Cl은 증가하는 경향을 보였으나 한계가 있음을 알 수 있었다. 본 연구에서는 그 $\text{Ca}/0.5\text{Cl}$ 한계 값이 1.5임을 알 수 있었다.

후기

본 연구는 산업자원부가 지원하고 에너지관리공단에서 관리하는 대체에너지 개발사업에 의하여 이루어졌으며, 이에 감사드립니다..

참고문헌

- (1) Gui-Qing Liu et al., "Fundamental study of the behavior of chlorine during the combustion of single RDF", Waste Management, Vol. 21, pp. 427-433, 2001.
- (2) B. Courtemanche and Y. A. Leventis, "Control of the HCl emissions from the combustion of PVC by in-furnace injection of calcium-magnesium-based sorbents", Environmental Eng. Sci., Vol.15, pp. 123-135, 1998.
- (3) B. Shemwell, A. Atal, Y. A. Leventis and G. A. Simons, "A laboratory investigation on combined in-furnace sorbent injection and hot flue gas filtration to simultaneously capture SO_2 , NO_x , HCl, and particulate emission.", Environ. Sci. Technol., Vol. 34, pp.4855-4866, 2000.