

실증규모 체인스토커식 RDF전용보일러 개발

*최 연석¹⁾, 김 병길²⁾, 노 남선³⁾

Development of a Commercial-scale RDF Boiler with Chain type Stoker

*Yeonseok Choi, Byunggil Kim, Namsun Roh

Key words : Refuse Derived Fuel(폐기물 고품연료), RDF dedicated boiler(RDF전용 보일러), Chain type stoker(체인스토커), Flue gas(배연가스)

Abstract : A commercial-scale RDF boiler that its burning capacity is 400 kg-RDF/hr and steam production capacity is 2 ton/hr. It has a chain type stoker and waste heat recovery system. Heat exchanger is vertical water-pipe so that soot blowing and removal is convenient during operation. Dry scrubber, bag filter and activated carbon tower have been installed for the reduction of air pollutant gases and dust. Analysing data of pollutants from stack such as SOx, NOx and dioxin shows so good results that the boiler system could comply the regulated emission limits.

1. 서 론

화석연료의 대부분을 수입에 의존하고 있는 우리나라는 국가의 산업경쟁력 제고 측면에서 신재생에너지의 확보가 필수적이며 여러 종류의 신재생에너지 중에서 폐기물에너지가 많은 부분을 담당해야 한다. 생물학적 분해가 가능한 여러 폐기물(bio-degradable municipal solid waste)의 에너지재활용은 국제에너지기구(IEA)에서도 신재생에너지로 인정을 하고 있으므로 지구환경문제, 귀중한 폐자원의 효율적 이용 및 신재생에너지 개발 측면에서 폐기물의 연료화가 중요하다. 현재 국내에서 대부분 매립 또는 소각처리하고 있는 생활폐기물 및 사업장폐기물 중에는 발열량이 높은 플라스틱, 종이와 같은 가연성폐기물이 많이 포함되어 있지만 유효한 에너지자원으로 활용되지 못하는 경우가 많다. 국내 생활폐기물의 경우 소각율이 15%정도이며 그 중에서 대형소각로를 제외하면 소각 폐열이 활용되는 경우는 많지 않다.

최근에 다수의 선진국에서는 가연성폐기물고형연료(Refuse Derived Fuel, 이하 RDF)에 관한 품질표준을 정하고 있고 유럽에서는 국가 간에 RDF의 교역량이 매년 증가하고 있으며 각종 관련 제도의 개선을 통하여 RDF를 활용한 폐기물에너지의 회수에 많은 노력을 기울이고 있다.¹⁾ 우리나라도 현재 환경부가 시설비를 보조하여 건설한 원주시 생활폐기물RDF제조시설이 2006년부터 상용운전을 시작하여 잘 운영되고 있다. 환경부는 2003년에 처음으로 폐플라스틱고형연료(Refuse

Plastic Fuel, 이하 RPF) 품질기준을 제정한 이래로, 2006년 11월에는 생활폐기물을 원료로 하는 RDF에 대해서도 품질규격을 법제화하였고, 2008년부터는 페타이어고형연료(Tire Derived Fuel, 이하 TDF) 및 폐목재고형연료(Wood Chip Fuel, 이하 WCF)도 품질기준을 정하였다.^{2),3)} 한편 지식경제부에서도 신재생에너지로서 RDF의 중요성을 인식하고 RDF제조·연소기술 개발 및 RDF 관련 품질기준 및 연소시설 표준화 등에 관한 연구사업을 오랫동안 수행해 왔고 현재에도 RDF발전기술 개발 등을 진행하고 있다. 국가 신재생에너지 개발계획의 내용을 보면 태양력, 풍력, 수소연료전지 등 11개의 신재생에너지원 중에서 폐기물에너지가 2011년도 목표치인 5%의 57%를 담당하는 것으로 되어있어서 폐기물에너지 회수목표의 달성여부가 국내 신재생에너지 정책의 성공여부와 직결되어 있다고 할 수 있다. RDF는 신재생에너지 확보 측면에서도 중요하지만 환경적으로도 유리한 면이 많은 것으로 알려져 있다. RDF는 연소 시 다이옥신 배출농도가 소각에 비해서 적은 것으로 알려져 있는데 외국의 실험결과 70kg/hr 소규모 유동층소각

- 1) 한국기계연구원 그린환경기계연구본부
E-mail : yschoi@kimm.re.kr
Tel : (042)868-7344 Fax : (042)868-7284
- 2) (주)고려자동화
E-mail : bgkim0501@hanmail.net
Tel : (051) 311-9039
- 3) 한국에너지기술연구원
E-mail : nsroh@kier.re.kr
Tel : (042)860-3631

로에서도 RDF를 연소했을 때 다이옥신농도가 0.2ng-TEQ/ Nm³ 정도로 낮게 나타났다.⁴⁾ 그 이유는 폐기물 소각 시 다이옥신이 생성되는 De-novo 합성과정에서 중요한 원인이 되는 촉매체인 철 및 구리 등의 금속이 RDF에서는 제거되고 또한 염소를 중화하는 알칼리를 첨가하며 아울러 고온의 안정적인 연소가 가능하기 때문인 것으로 분석되었다. 본 연구는 원주시에서 생산된 RDF를 연료로 사용해서 원주시청사 건물전체를 냉난방하는 RDF 전용보일러를 설계 및 개발하고 환경성을 분석하는 것을 목적으로 하였다.

2. 실험 장치 및 시료

2.1 실험용 RDF보일러 구성

그림 1은 본 연구에서 개발한 RDF보일러의 블록 다이어그램으로서 RDF를 시간당 400kg정도 소모하여 스팀을 2톤 생산하는 것으로 설계하였다. 연소로는 일본에서 비슷한 규모의 보일러에 많이 사용되고 있는 체인스토커 방식으로 개발하였고, 스팀보일러는 soot 제거가 용이한 수직형 수관식열교환기로 설계하였다. 공해방지시설은 소석회를 사용하는 건식중화탑과 다이옥신을 제거하기 위해서 활성탄흡착탑을 설치하였다.

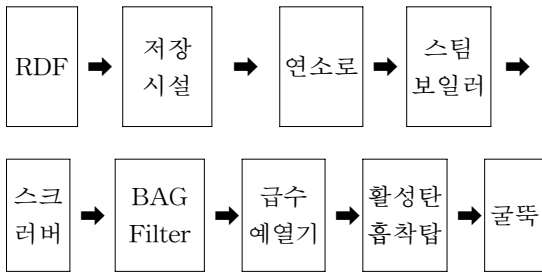


Fig. 1 Block diagram of RDF Boiler

그림 2는 RDF보일러 시스템의 상세한 구성도와 각 공정별 물질수지를 계산한 것으로서 계산에 적용된 자료는 다음과 같다.

- RDF 저위발열량 : 4,300 kcal/kg
- 보일러 효율 : 70%
- 공연비 : 2.5
- 스팀 발생량 및 증기압 : 2 ton/h, 7 atm

표 1은 주요 장치별로 산출된 온도를 나타낸 것이다. 이 값은 실험값과 비교하여 차이를 검토한 후 오차를 보정하면 실질적인 설계계산프로그램으로 완성된다.

Table 1. Calculated Design temperature

보일러 입구 온도	보일러 출구 온도	흡착탑 입구 온도	굴뚝 온도	원수 공급 온도
℃	℃	℃	℃	℃
1,014	232	100	100	99

2.2 실험용 RDF특성 분석

본 연구의 실험연료인 생활폐기물RDF는 Fig.3과 같으며, 원주시 생활폐기물 RDF제조시설에서 생산한 제품이다. 크기는 지름 15mm, 길이 50mm 정도이다. Table 2는 계절별 RDF특성을 분석하여 봄/여름 및 가을/겨울 두 그룹으로 정리한 것이다. 연소는 1.0~1.3% 정도로 나타났고 발열량은 봄/여름이 가을/겨울보다 높게 나타났다. 수분은 2% 이하로서 매우 적었다. 그러나 회분은 25%정도로 높게 나타났다. Table 3은 계절그룹별 원소분석값을 나타낸 것으로서 계절별 차이가 없었다.

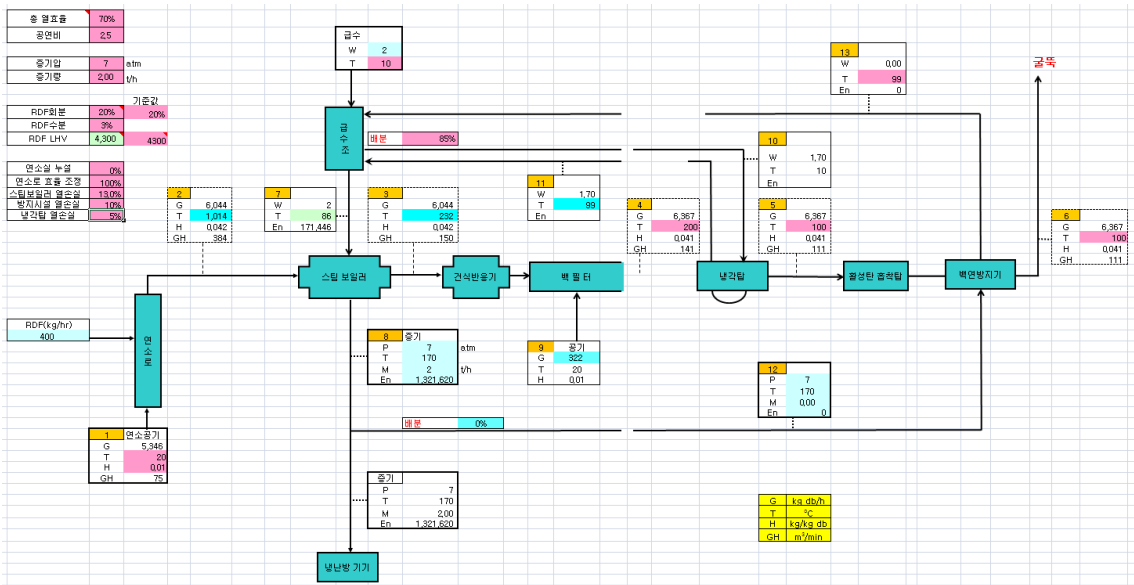


Fig. 2 Process flow diagram with mass balance



Fig.3. RDF made in Won-Ju city plant

Table 2. Properties of Won-Ju City's RDF

	Calorie (kcal/kg, D.B.)	chlorine (wt.%)	water (%)	Ash (%)
spring/summer	4,619	1.3	1.16	25
Fall/Winter	4,348	1.04	1.94	25

Table 3. Element Analysis of RDF

	C	H	N	S
spring/summer (% , D.B)	40.1	5.24	0.33	0.19
Fall/Winter (% , D.B)	44.0	5.3	0.65	0.16

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 보일러 성능분석

Table 4는 실제로 측정된 RDF보일러 각 부위의 온도, 차압 및 스팀공급량을 나타낸 것이다. 각 부위의 온도가 설계값이 설계값보다 다소 낮게 나타났는데, 이것은 RDF공급량이 다소 적었기 때문으로 판단된다. 그리고 흡착탑에서 온도는 설계값보다 높게 나타났는데 이것은 흡착탑 전단의 급수 예열기에서 열교환이 적게 이루어진 때문으로 판단되고 이와 같은 이유로 스팀의 공급량이 다소 적은 것으로 판단된다.

Table 4. Operation data of RDF Boiler

보일러 입구 온도	보일러 출구 온도	백필터 입구 온도	흡착탑 입구 온도	굴뚝 온도
℃	℃	℃	℃	℃
989	227	212	115	92
원수 공급1 온도	연소로 차압	보일러 차압	스팀 공급량	
℃	mmAq	mmAq	kg/hr	
66	-0.6	4.2	1,480	

3.2 공해가스 농도측정

Fig.4는 보일러 출구와 굴뚝에서 측정된 CO 및 O₂ 가스의 농도를 나타낸 것으로서 보일러 출구에서의 CO는 정상운전시에는 100 ppm 이하로 운전됨을 알 수 있다.

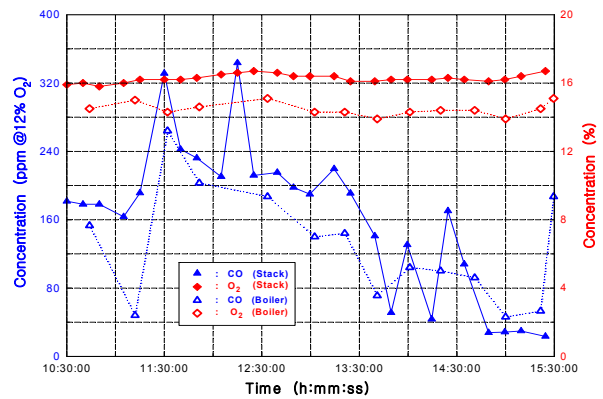


Fig.4 CO, O2 gas concentration in RDF Boiler

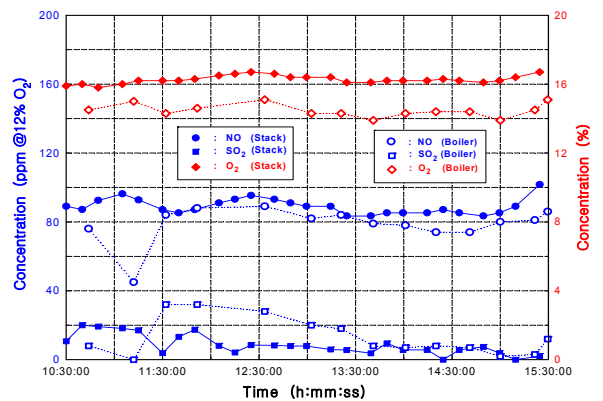


Fig.5 NO, SO2 gas concentration in RDF Boiler

Fig.5는 NO 및 SO2 가스 농도를 측정된 것으로서 정상운전시 NO는 80ppm, SO2는 10 ppm 정도로 나타났다. Table 5는 굴뚝에서 측정된 염화수소 및 다이옥신 농도를 측정된 것으로서 다이옥신은 기준값 5ng-TEQ/Sm³보다 매우 낮은 값을 보였다.

Table 5. concentration of HCl gas & Dioxin

오염물질	HCl 농도 [12% O ₂] (ppm)	다이옥신 배출농도 [12% O ₂] (ng-TEQ/Sm ³)
농도	16.8	0.835

4. 결 론

원주시청사 건물의 냉난방을 위하여 스팀을 시간당 2톤 정도 생산할 수 있는 RDF전용 보일러를 개발하였다. 사용하는 RDF는 시간당 약 400 kg/hr 정도이고 화격자는 체인스토커 방식으로 개발하였다. 시운전 개시 후 6개월 이상 가동하고 있으며 클링커 생성이나 장치부식과 같은 문제가 없이 정상적으로 운전되었다. 흡착탑 전단의 급수가열기 설계가 약간 작게 되었으나 전체적으로 정상적인 효율을 나타내었다. 그리고 건식 가스중화시설, 백필터 및 활성탄흡착탑으로 구성된 공해방지 시설은 연소실에서 발생된 배연가스를 잘 중화처리하였다. 굴뚝에서 측정된 최종 배연가스는 CO, SOx, NOx, HCl 및 다이옥신 모두 배출허용기준값을 충분히 만족하는 것으로 나타났다. 이 보일러가 검증됨으로서 향후 여러 지자체에서 생산될 생활폐기물 RDF를 대형건물의 냉난방 연료로 사용할 수 있게 되었고, 그에 따라서 국가의 신재생에너지 공급에 크게 기여할 것으로 기대된다.

후기

본 연구는 에너지관리공단 신재생에너지센터에서 지원하는 신재생에너지기술개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

References

- [1] 최연석, '가연성폐기물고형연료(RDF)의 경제성 분석 및 제도도입에 관한 연구' 수도권매립지관리공사 용역보고서 2006-10-003 -01
- [2] 환경부령 제 220호, 2006.11
- [3] 환경부령 제 267호, 2008. 1
- [4] 鍵谷 司, 'ごみ固形燃料利用におけるダイオキシン類の発生抑制について' 月刊廃棄物 1997-5