

석탄보일러에서 각종 RDF혼소시 다이옥신 농도 조사

최 연석, 최 항석, 김 석준¹⁾, 윤 균덕²⁾

Co-combustion of RPF in the Coal Power plant

Yeonseok Choi, Hangseok Choi, Seockjoon Kim, Kyoonduk Yoon

Key words : Refuse Derived Fuel(폐기물 고형연료), Coal power plant(석탄화력발전소), CFBC(순환유동층 보일러), Co-combustion(혼합연소), Flue gas(배연가스), Dioxine(다이옥신)

Abstract : The co-combustion of coal and three kinds of RDFs(Refuse Plastic Fuel) mixture has been experimented in a commercially operating CFB coal boiler respectively and the pollutant emissions such as SOx, NOx, TSP and dioxine were measured at the stack. The mixing ratio with coal was 7.5% RPF, 7.5% RDF and 10% SDF respectively. During co-combustion, dioxine emission level was very low and SOx, NOx and TSP were decreased comparing the single coal combustion. Emitting dioxine concentration was proportioned to the chlorine content of RDF. These RPF, SDF and RDF could be determined to be a good alternative fuel of general coal.

1. 서 론

화석연료의 대부분을 수입에 의존하고 있는 우리나라는 국가의 산업경쟁력 제고 측면에서 신재생에너지의 확보가 필수적이며 여러 종류의 신재생에너지 중에서 폐기물에너지가 많은 부분을 감당해야 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. 하수슬러지와 산업폐수슬러지 중에도 유기성의 가연성분이 포함되어 있지만 해양에 그대로 투기되고 있다. 국내 생활폐기물의 경우 소각율이 15%정도이며 그 중에서 대형소각로를 제외하면 소각 폐열이 활용되는 경우는 많지 않다. '05년 전국 하·폐수슬러지 발생량은 18,501톤/일이며, 이 중에서 53%가 해양투기되고 있어서 귀중한 에너지자원이 낭비되고 있다.¹⁾

최근에 다수의 선진국에서는 가연성폐기물고형연료(Refuse Derived Fuel, 이하 RDF)에 관한 품질기준을 정하고 있고 유럽에서는 국가 간에 RDF의 교역량이 매년 증가하고 있으며 각종 관련

제도의 개선을 통하여 RDF를 활용한 폐기물에너지의 회수에 많은 노력을 기울이고 있다.²⁾ 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)도 품질기준을 정하였다.^{3),4)} 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.

1) 한국기계연구원 환경기계연구본부

E-mail : yschoi@kimm.re.kr

Tel : (042)868-7344 Fax : (042)868-7284

2) 한국산업기술시험원 환경기술센터

E-mail : kdyoon@ksti.re.kr

Tel : (02)860-1396 Fax : (02)860-1545

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 유동층소각로에서도 RDF를 연소했을 때 다이옥신농도가 0.2ng-TEQ/ Nm³ 정도로 낮게 나타났다.⁵⁾ 그 이유는 폐기물 소각 시 다이옥신이 생성되는 De-novo 합성과정에서 중요한 원인이 되는 촉매제인 철 및 구리 등의 금속이 RDF에서는 제거되고 또한 염소를 중화하는 알칼리를 첨가하며 아울러 고온의 안정적인 연소가 가능하기 때문인 것으로 분석되었다.

소각로는 가동을 시작하거나 중지할 때 저온 구간을 지나면서 다이옥신이 다량 발생하는 것으로 알려져 있는데 중소지자체에서는 주로 설치되는 중소형 소각로는 매일 소각로 가동과 중지를 반복하는 문제가 있다. 이를 해결하는 방법으로 외국에서는 중소지자체에서 폐기물을 RDF로 만들고 이것을 대형 발전소나 시멘트 공장에서 모아서 연료로 사용하는 방법으로 광역화처리를 해서 비연속식 중소형소각로의 다이옥신 문제를 해결하고 있다. 이 외에 RDF는 수분이 적기 때문에 완전 연소가 용이하고 따라서 일산화탄소와 같은 유해가스의 발생량도 감소한다. 따라서 폐기물에너지의 환경친화적 회수를 위해서는 대형소각로의 폐열을 활용하는 방안을 더욱 적극적으로 추진함과 동시에 중소지자체의 중소형소각로는 RDF시설로 대체하는 방안이 매우 유력하다. 한편, RDF생산을 활성화하기 위해서는 RDF를 사용하는 시설을 충분히 확보하는 것이 매우 중요한 과제이다. RDF수요처는 기존 상업운전 중인 발전소, 시멘트소성로 등을 이용하는 방법과 운반거리가 먼 곳은 RDF 전용발전소 등을 건설하는 방안이 필요하다.

본 연구는 유력한 폐기물고형연료 사용시설인 상업운전중인 석탄보일러에서 폐플라스틱고형연료(RPF; Refuse Plastic Fuel)와 생활폐기물고형연료(RDF) 및 염색폐수슬러지고형연료(Sludge Derived Fuel, 이하 SDF) 등 3종류의 폐기물고형연료를 석탄유동층보일러에서 혼소하면서 그 때 배출되는 다이옥신 농도와 SO₂, NO_x, 분진 등의 농도를 측정하였고 고형연료의 염소농도와 다이옥신의 상관관계를 분석함으로써 폐기물고형연료와 석탄 혼소할 경우의 환경적 특성을 고찰하였다.

2. 실험 장치 및 시료

2.1 실험용 RPF특성 분석

본 연구의 첫 번째 실험연료인 RPF는 Fig.1 모습과 같이 펠렛형으로서 환경자원공사에서 품질인증을 받은 제품이다. 동 RPF는 직경 15mm와 길이 50~100mm 정도의 펠렛이고 소석회가 1~2% 첨가된 상태로서 균일한 크기와 밀도를 가지므로 자동연료 공급하기에 매우 적합한 상태였다. 염소농도는 7,542~20,655 ppm wt.로 시료에 따라서 편차가 다소 큰 편이었으며 발열량은 약 7,500~8,000kcal/kg, 수분은 2% 이하, 회분은 5% 이하의 분석값을 보였다. RPF품질기준으로 보면 시험품의 등급은 발열량 기준으로는 '가' 균이고, 염소농도 기준으로는 평균 3등급에 해당

였다. RPF의 발열량이 일반 석탄보다 높으므로 발열량 측면에서는 매우 경제성이 좋은 양질의 연료이고, 회분도 석탄보다 적기 때문에 비산재나 바닥재의 발생량도 적어지는 장점도 있다. 현재 펠렛형RPF는 취급이 용이하고 보일러 자동투입이 가능하므로 사용자로부터 호응이 좋으며 톤당 4~5만원 이상으로 유상판매되고 있다.



Fig.1 commercial RPF in KOREA

2.2 실험용 RDF특성 분석

본 연구의 두 번째 실험연료인 생활폐기물RDF는 Fig.2와 같으며, 원주시 생활폐기물 RDF제조시설에서 생산한 제품이다. 크기는 지름 15mm, 길이 50mm 정도이다.



Fig. 2. RDF made in Won-Ju city plant

Table 1은 RDF특성을 정리한 것이다. 염소는 RDF품질 인증기준인 2%보다 적었고 발열량은 국내 무연탄보다 높은 값을 보였다. 수분은 4% 전후로 거의 없는 것으로 분석되었다. Table 2는 RDF의 원소조성을 18회 분석한 평균값이다. Table 3은 RDF속의 중금속 농도를 분석한 값이다. 수은과 비소는 검출되지 않았고 카드뮴도 품질기준을 만족하였다. 납은 기준을 초과한 경우가 있었는데 선별공정에서 완전히 제거되지 못하고 일부가 잔류한 것으로 판단된다.

Table 1. Properties of Won-Ju City's RDF

Calorie (kcal/kg, D.B.)	chlorine (wt.%)	water (%)	Ash (%)
4,718	1.28	3.72	20.41

Table 2. Element Analysis of RDF

element	C	H	N	S
(%, D.B)	43.5	6.35	0.69	0.08

Table 3. Heavy metal Concentration

(Unit : mg/kg, D.B.)

No.	Hg	Cd	Pb	As
1	ND	5.16	994.2	ND
2	ND	3.54	111.7	ND
3	ND	4.34	135.0	ND
Regulation	1.2 >	9 >	200 >	13 >

2.3 실험용 SDF특성 분석

본 연구의 세 번째 실험연료인 SDF는 B염색공단에서 발생하는 염색폐수슬러지의 건조품 30%와 포장필름플라스틱의 분쇄품 70%를 혼합하여 펠릿 형태로 성형한 것으로서 Fig.3과 같은 모습이고 직경은 15mm, 길이는 50mm 정도이다.



Fig. 3. RPF pellet made of Dying-sludge with film-plastic

Table 4는 건조된 염색폐수슬러지의 특성분석 결과로서 염소가 매우 적고, 회분이 높은 것으로 나타났다. Table 5는 SDF 특성분석 결과로서 염소 함량이 약 0.8% 내외이고, 발열량은 약 8,000 kcal/kg 정도로서 매우 높은 열량을 보였다.

Table 4. Properties of Dried Dying-sludge

Calorie Value (kg/cal)	Ash (%)	C	H	N	S	Cl
3573	40	32	4.8	3.0	-	0.14 ~ 0.21

Table 5. properties of RPF made of 30% dying-sludge and 70% film-plastic

No.	Cl (wt. ppm)	Calorie Value (kcal/kg)	water (%)	Ash (%)
1	7831	7,831	-	16.00
2	8700	8,053	-	15.97

2.4 혼소 실험 장치

진술한 바와 같은 3종류의 폐기물고형연료를 순환유동층 석탄화력발전소에서 석탄과 혼소하면서 배연가스 변화와 다이옥신 농도 등을 분석하였다. 석탄화력발전소는 B염색공단이 운영하는 상용 순환유동층화력발전소로서 석탄보일러의 구성은 Fig.4와 같으며 공해방지시설은 전기집진기만 있다.

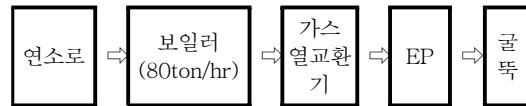


Fig.4. diagram of BDIC Coal Power plant

동 발전소의 용량과 구성은 다음과 같다.

- 용량 : 증기 80톤/시, 2기
- 방식 : 순환유동층
- 증기 조건 : 온도 480℃, 압력 85 kgf
- 터빈 : 19MW Max.
- 석탄 사용량 : 약 10톤/시/기
- 사용 석탄 : 중국 선화탄
- 방지시설 : 전기집진기
- 특징 : U-beam에 의한 유동사 순환

혼소실험 시 고형연료펠릿 공급관을 석탄공급관에 연결하여 석탄과 함께 보일러로 투입되도록 하였으며, 막힘 현상이 없이 양호하게 이송이 되었고, 공급량 조절도 매우 정확하게 할 수 있었다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 다이옥신 농도 측정

Table 6은 실험연료별 염소농도와 혼소율에 따른 다이옥신 농도를 나타내고 있다.

Table 6. Dioxine emission in co-combustion of coal & various RDFs

	RPF		RDF	SDF	
Chlorine (%)	0.6	2.0	1.28	0.8	
mix ratio(%)	2.5	7.5	7.5	10	15
dioxine	0.0031	0.0487	0.0148	0.0005	0.004

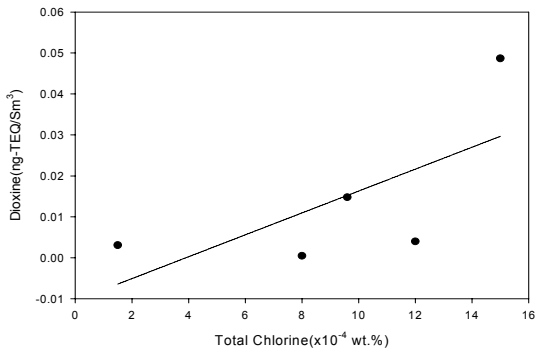


Fig.5. Correlation of Chlorine to Dioxine

Fig.5는 투입된 톱 염소량과 다이옥신 배출농도 사이의 상관관계를 그린 것으로서 염소량과 다이옥신 농도는 비례하는 경향을 보이지만 측정편차가 매우 큰 것으로 나타났다. 직선 아래의 두 점은 SDF 혼소시 다이옥신 농도로서 투입된 염소농도에 비해서 매우 낮은 다이옥신값을 보였다. SDF를 제외하면 염소와 다이옥신 농도가 잘 비례하게 된다.

3.2 기타 공해물질 농도 측정

Fig.6은 RPF 7.5%, SDF 10% 및 RDF7.5%를 혼소했을 때의 SOx 농도에 관한 TMS 그래프로서 수평직선은 석탄만 사용할 때의 SOx 농도를 나타낸 것으로서 혼소 시 SOx가 크게 감소하였다.

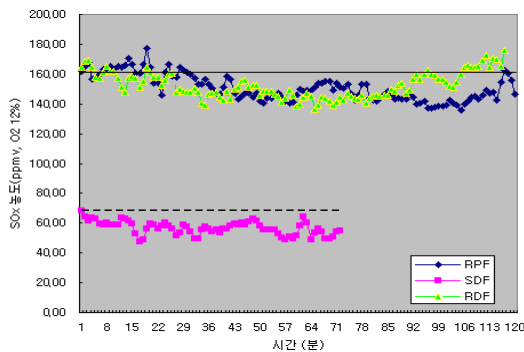


Fig. 6 SOx Emission Level

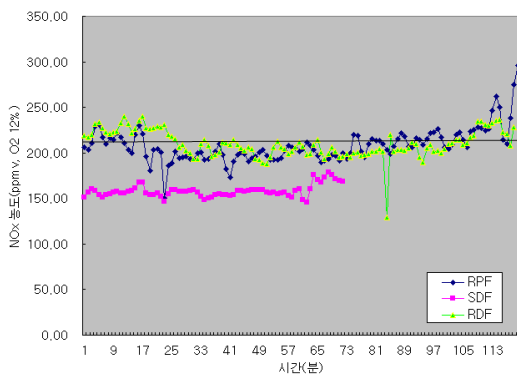


Fig.7 NOx Emission Level

Fig.7은 동일한 조건에서 NOx 농도에 관한 TMS 그래프이며 RPF와 RDF 혼소시 NOx농도가 약 15% 정도 감소하였고 SDF는 변화가 없었다.

Fig.8은 동일조건에서 TSP (Total Suspended Particulate) 농도에 관한 TMS 그래프로 RPF와 RDF 혼소의 경우는 크게 감소하였고 SDF는 약간 증가하였다.

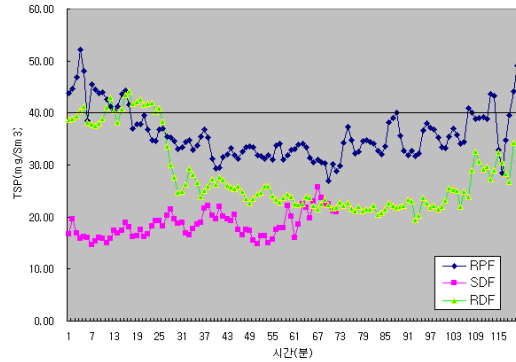


Fig.8 TSP Emission Level

4. 결론

상용운전을 하고 있는 순환유동층 석탄보일러에서 RPF7.5%, RDF7.5% 및 SDF10%를 혼소하면서 SOx, NOx, TSP 및 다이옥신을 측정하였다. 다이옥신 농도는 매우 낮게 나타났고 염소농도와 다이옥신은 비례관계로 분석되었다. SOx, NOx 및 TSP도 혼소 시 감소하는 경향을 보였다.

결론적으로 RPF, RDF 및 SDF는 우수한 석탄 대체연료로 사용될 수 있는 것으로 판단되었다.

후기

본 연구는 에너지관리공단 신재생에너지센터에서 지원하는 신재생에너지기술개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

References

- [1] '유기성오니처리 종합대책'환경부 2006.5
- [2] 최연석, '가연성폐기물고형연료(RDF)의 경제성 분석 및 제도도입에 관한 연구'수도권매립지관리공사 용역보고서 2006-10-003 -01
- [3] 환경부령 제 220호, 2006.11
- [4] 환경부령 제 267호, 2008. 1
- [5] 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