

RDF연소를 위한 순환유동층보일러개발

배달희^{*†}, 선도원^{*}

Development of Circulating Fluidized Bed Boiler for Refused Derived Fuel

Dal-Hee Bae^{*}, Dowon Shun^{*}

ABSTRACT

Combustion of RDF and wastewater sludge was performed in a 0.1MWth bench scale circulating fluidized bed combustor(CFBC). Combustion characteristics of the RDF and sludge mixture demonstrated stable combustion conditions. Component analysis, Combustion characteristics was measured before and after the test, and applications for commercial 1MWe CFBC boiler were prepared. The release of hazardous components such as SO₂ and HCl was relatively low values of 50 and 150ppm, respectively.

Key Words : RDF, Circulating Fluidized Bed, Combustion

1. 서 론

폐기물 소각시설에서 열 및 전기 에너지의 회수는 설비의 경제성을 높일 수 있는 장점으로 부각되지만 폐기물 성상의 변화 및 수요 공급의 불균형이 지속적이고 안정적인 에너지 회수를 어렵게 하고 있다. RDF는 수분과 유해성분 및 불연물을 연료의 전처리 단계에서 제거하고 남은 가연물을 연소장치에 투입하기 적당하고 연소가 쉬우며 일반적인 저장설비에서 보관하기 용이하게 처리된 폐기물 연료이다.

구미, 일본 등지에서는 이미 30여 년 전부터 연구개발이 진행되어 왔으며 현재는 RDF 탄화설비, RDF 발전에까지 확대되고 있다 2). 독일에서는 이미 10-20년 전부터 폐기물을 소각에 안전한 정도까지 선별한 후

RDF화 한 후 순환유동층 연소보일러에서 연소하여 열을 산업용 process에 사용하고 있고 오스트리아의 경우 60기 이상의 유동층 폐기물 소각보일러를 가동하고 있어 대체 에너지 확보와 폐기물의 안전처리 이중효과를 누리고 있다. 그러나 국내에서는 80년대 후반부터 기술 도입의 시도가 수차례 있었으나, 기술 신뢰도나 국내 폐기물 처리체계 및 발생량에 대한 사전조사의 부족 시장 등 주변여건의 미숙으로 실패하였다. 특히 이전 시도된 기술은 RDF에 소각로에 대해서 운전기술의 정립과 및 배연 등 배출물의 유해성에 관한 관리 기술이 없었다 4).

산업용 순환유동층 보일러에서 RPF 연료를 혼소하는 기법은 고온의 불활성 물질로 이루어진 유동층에 RDF를 투입하여 연소시키게 되어 고온 혼합과 빠른 가열로 신속하게 연소하는 특징을 지닌다. 특히 800-900℃ 저온 연소로 인하여 thermal NOx 발생이 거의 없으며 연료중 질소성분의 산화도 공기의 다단 주입으로 차단할 수 있다. 더욱이 낮은 층내 탄소농도

* 한국에너지기술연구원 청정에너지연구센터

† 연락처, E-mail : dalbae@kier.re.kr

를 유지하게 되어 완전연소가 가능하며 긴 연소로 내에서 연소입자의 반응시간을 늘이고 다시 사이클론에서 미연 입자를 포집하여 재 연소하는 방식으로 미연소가 연분의 유실을 극소화 할 수 있다. 더구나 RPF 제조에 사용된 석회석으로 탈황과 염소분의 흡수제거가 가능하여 환경적으로 안전한 연소기술로 구미 각국에서는 이미 20여 년 전부터 사용되고 있는 기술이다. 실제로 대용량 순환유동층 이외의 방법으로는 유효 에너지 회수가 거의 불가능하며 배가스 관리도 어려운 실정이다. 상용 순환유동층 석탄연소보일러는 현재까지 국내에서 가장 경제적이고 효율이 높으며 환경친화적인 열병합 발전보일러이나 현재 산업체에서는 자체 발생 폐기물의 경제적이고 안전한 처리, 외국에 비해 상대적으로 비싼 기업의 에너지 비 등의 이유로 폐기물의 연료화에 주목하고 있다. 유동층 연소는 전 세계적으로 슬러지 및 폐기물 처리법으로 점차 증가하는 추세에 있는데 이는 다음과 같은 이점이 있기 때문이다. 첫째 층내 혼합이 잘 되기 때문에 상대적으로 낮은 온도와 과잉공기율에서도 완전 연소가 가능하다. 둘째 많은 양의 층내 불활성 물질이 열 저장소의 역할을 하여 갑작스러운 온도 변화를 방지해준다. 셋째 층내의 적은 양의 연료나 석탄은 연소로가 조업온도 근처에 있을 때 start-up이나 shut-down을 수분 내에 가능하게 해준다. 넷째 많은 양의 층물질은 열 충격에 따른 내화물의 손상을 줄이고 또한 연소로의 고온 부분에 moving part가 없기 때문에 보수 유지비가 적게 든다. 또한 유동층 연소로는 반응기의 열전달이 우수할 뿐 아니라 별도의 공정 없이도 공해물질의 배출억제가 가능하고 수분을 많이 포함하고 있는 연료에도 적용이 뛰어나다는 장점이 있어 다양한 분야에서 적용되고 있다. 특히 외부 열교환식 순환유동층 방식을 도입할 경우 최종과열기의 부식을 억제할 수 있어 연소로 관리에 매우 효과적이다.

본 연구의 목적은 국내 최초로 순환유동층 보일러에서 RDF를 전소 또는 혼소하여 생산되는 증기와 에너지를 현장에서 사용하며 이로부터 RDF의 열이용 가능성을 타진하며 폐기물 에너지 이용기술을 개발하고, 1MWe급 순환유동층 RDF 연소 발전설비를 국내 독자기술로 설계하고 또한 참여기업의 독자 건설기술로 건설 상용화 기술을 확보하고 기술을 산업 재산권화 하여 국내외에 보급하는 데 있다.

2. 기초실험 및 결과

본 연구를 위해 사용된 기초실험 장치는 Fig. 1과

같다 7). 연소로 하부에 외부 water jacket을 설치하고, 2100, 3400, 4900mm 지점에 수평형 이중관 열교환기가 설치되어 연소로 온도를 조절한다. 또한 연소로 하부는 내경 5" tubular 형이고 높이가 2200mm이다. 연소로 상부는 내경 6" tubular 형으로 높이는 5000mm이다. RDF는 전처리 과정을 거친 25mm이하의 것을 screw feeder를 통해 연소로(공기 분배기 위 1.25m)로 공급한다. 연소공기는 1차공기와 2차공기로 나누어지며, 1차공기는 분산판 하부로, 2차공기는 분산판 위 2.1m 지점에서 공급한다. 연소로의 loop seal에서는 회재의 유동과 재순환을 위해 유동화 공기를 분산판을 통해 별도로 공급한다.

사이클론에서 포집된 회재는 dip leg를 따라 loop seal에 도착하면 dip leg공기와 return leg 공기에 의해 유동화 되고 이송되어 연소로로 재 주입된다.

배연중 NO, SO₂, CO, N₂O의 성분과 농도는 실시간 분석기인 ABB사 URAS 14를 사용하였다. HCl분석은 일본TOADKK사 GNC-24전용분석기를 사용하였고, 원소분석과 연료의 발열량은 LECO사의 분석기이다.

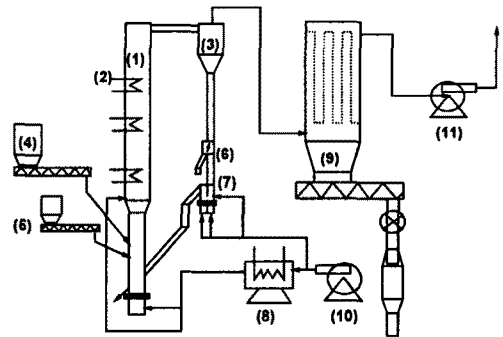


Fig. 1. Diagram of circulating fluidized bed combustor

(1) Combustor, (2) Heat transfer tube, (3) Cyclone, (4) Coal feeder, (5) Limestone feeder (6) Solid flow diverter, (7) Loop seal, (8) Air preheater, (9) Bag filter, (10) F.D. fan, (11) I.D. fan

2.1. 연료특성

Table 1.은 혼합한 슬러지와 제조된 RDF의 공업 분석 및 원소분석결과이다. 슬러지는 일반적인 하수슬러지로 탈수 후 함수율은 82.5-84.03%이다. 도착기준 슬러지의 발열량은 분석기로 분석이 불가능하였고, 건조한 슬러지의 발열량은 2641kcal/kg으로 나타났다. 건조슬러지에는 1.24%의 황이 함유되어 있었다.

Table 1. Properties of sludge and RDF

Sample, Wt%	Mois-ture	Volat-ile	Ash	F.Car-bon	Sulfur	Carb-on	HCl	HHV (kcal/kg)
Dried Sludge	5.4	51.9	42.7	-	1.24	27.25	0.11	2641
Agricultural PE film	0.59	97.2	0.14	2.1			0.2	10550
RPF from municipal waste (샘플 1)	0.09	65.7	33.2	1	0.14	63.4	0.6	6889
RPF from municipal waste (샘플 2)	0.08	76.8	22.2	0.9	0.17	76.9	0.1	8213

샘플1(투입량: 농촌 그린하우스 시트: 150kg, PE:75kg,슬러지:25kg)
 샘플2(투입량: 농촌 그린하우스 시트: 100kg, PE:80kg,슬러지:20kg)

2.2. 연소실험 결과

유동층 보일러에서의 연소특성은 연료의 분석에서 나타난 바와 같이 RDF에 고정탄소가 미량 존재하므로 연소로에 투입된 RDF는 휘발과 동시에 바로 착화되어 연료 공급부의 상부가 과열점이 된다. 이러한 부분과 열현상은 보일러 운전시 연소재의 용융에 의한 clinker를 발생시키며 수관에 열화를 일으키는 등 운전 장애 요인이 된다. Fig. 2에 RDF 연소에 따른 높이방향 온도 분포를 나타내었다. 국부과열은 연소공기의 다단주입으로 해소되는데 그림과 같이 전체 공기를 1차공기와 2차공기로 나누고 1차공기를 연소로하부 분산판을 통해 주입하고 2차공기를 연료 주입구 상부에 주입하여 연소비율을 분배하였다 8).

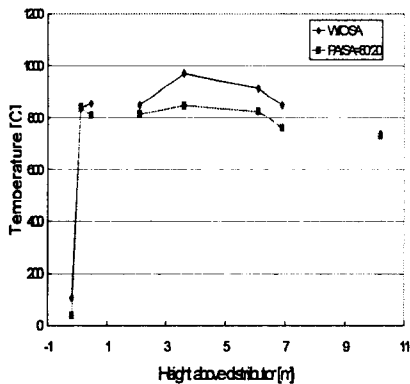


Fig. 2. Vertical temperature distribution during combustion

Fig.3에는 RDF 연소에 따른 배연특성을 나타내었다. 역시 연료가 함유하고 있는 황과 염소의 함량이 낮아 배연중 함량은 낮은 편이었다. SO₂는 50ppm 내외이었으며 HCl은 100-150ppm을 나타내었다. NO_x는 유동층 연소의 특징인 thermal NO_x 억제 특

성으로 100-150ppm을 나타내었다. 시험연소로 특성상 완전한 온도제어가 어려워 CO의 배출은 기록을 나타내었으나 결국 수백 ppm 이하에서 제어 되었다 1, 3).

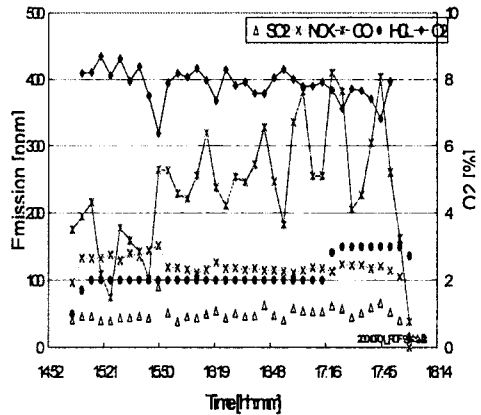


Fig. 3. Emission characteristics of major pollutants

3. RDF연소 전용 순환유동층 보일러

기초실험과 문헌과 자료분석을 통해 외부열교환식 순환유동층 연소방식을 독자적으로 개발하여 고온의 스팀회수가 가능하며 부식을 억제할 수 있음을 실증하고자 한다. 또한 이 방식은 보일러의 온도관리가 용이하여 운전관리 성능도 탁월할 것으로 예측된다.

폐열에 의한 발전방식은 폐기물이 함유하고 있는 염소에 의한 고온부식의 우려로 인하여 증기온도를 300°C 이내에서 유지하며 이로 인해 발전효율이 매우 떨어져 열병합의 효과를 기대할 수 없다. 본 사업에서는 외부순환유동층 방식의 연소기술 개발로 최종과열기를 기포유동층 외부열교환기에 설치함으로써 고온의 스팀생산이 가능하며 따라서 열병합 발전이 가능하게 된다. 또한 입자의 외부순환 방식을 신기술인 비기계적 순환방식을 고안하여 외국의 기술특허로부터 자유로우며 고유의 신기술로 대외수출이 가능하다. 본 사업에서는 배연제어와 전열관의 염소부식 방지 기능이 뛰어난 연료기준 100kg/급(일 1.2ton) 새로운 국산 비기계적 입자순환 및 외부열교환식 RDF 연소 순환유동층 시범보일러를 건설하고 후처리 기술을 포함하는 안전 연소 기술을 실용화한다.

본 기술의 단위개발 항목은 Fig. 4의 그림 블록의

구성과 같다.

(1) RDF 저장 및 공급시설로 RPF storage hopper > surge bin > RDF feeder로 구성된다.

(2) 유동층 연소보일러로 외부 열교환기와 비 기계적 밸브를 포함한다.

(3) 공해방지 시설로 암모니아 주입기 > dry absorber > bagfilter > A/C cartridge filter > stack으로 구성된다.

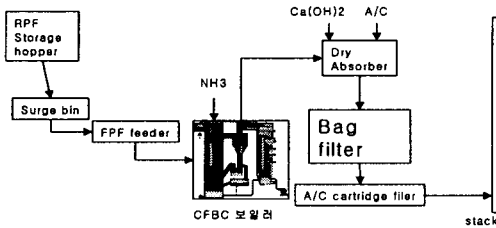


Fig. 4. Part List of CFB Boiler for RDF

보일러는 RDF 기준 100kg/h로 설계되었다. 설계 기준은 Table 2와 같다.

Table 2. Design Specification of Pilot Plant

CFBC	중발량 (ton/h)	시설용량	특징
설비	항목중기온도(deg.-C)	300	
	중기압력 (ata)	15	
	연료사용량 (ton/h)	0.1	
	주연료	RPF	
	발열량 (kcal/kg)	8000	
	연간 가동시간 (hrs/yr)	1000	
배출기준	CO	300(12)	
ppm @	HCl	6	기타시설
12%O2	SO2	150(6)	
	Nox	150(6)	
	H2S	10	
	F	3	
	Cd		
	Dust @ mg/Sm3	100(4)	
발전	Turbine-Generator		일반보일러
탈질설비	SNCR	NH3 주입	없음
흡수설비	흡수탑	Ca(OH)2	
제진설비	백필터		
배연설비	연돌		

대상 연료는 본 연구팀이 생산한 RDF(RDF from municipal waste 샘플 2)로 하였다. 연료의 분석값은 Table 3와 같다. 설계를 위해서는 계산된 발열량 값을 사용하게 되며 고위 발열량은 8213kcal/kg이다. Table 3는 수입 유연탄과 비교한 RDF의 분석값이다. RDF는 성형제품이기 때문에 수분이 거의 없다. 또한 플라스틱이 주 원료이기 때문에 휘발분이 거의 대부분을 차지하여 석탄에서 보이는 것과 같은 고정탄소는 거의 없다. 원소분석 값도 수소

의 함량이 많이 나타나며 질소와 황함량은 원천적으로 적다. 염소 함량이 적게 나타나는 것은 사용된 원료 페플라스틱이 주로 포장재이며 비교적 덩치가 큰 PVC 등이 제거되었기 때문이다. 무기물(ash)의 함량이 석탄이 7%인데 반하여 22%를 나타내는 것은 건조 슬러지가 포함되고 소석회가 첨가물로 사용되었기 때문이다. 이러한 무기물은 RDF의 발열량이 지나치게 높아지는 것을 막아줄 뿐 아니라 순환유동층 연소중 유실되기 쉬운 충물질을 보충해주는 역할을 하게 된다.

Table 3. Properties of Coal ,Lime and RDF

	선회탄 ANALYSIS	RDF	LIMEST ONE
Proximate analysis	wt % received		
M	10.38	0.08	0.02
V	26.74	76.81	
Ash	6.81	22.23	
FC	56.07	0.88	
	100.00	100.00	
Ash analysis	wt % dry		
CaO	25.45	0.00	49.92
MgO	1.35	0.00	2.00
SO3	0	0.00	
Ultimate analysis	wt % dry		
C	73.16	59.69	
H	4.11	9.64	
N	0.73	0.38	
total S	0.65	0.12	
HCl	0	0.50	

Table 4에 RDF 연료와 노내 염소흡수 및 노내 탈황을 위해 연료와 함께 주입될 석회석의 조성을 나타내었다.

Table 4. Composition of Lime and RDF

Composition	RDF		Limestone	
	[wt %]	[kgmol/kg]	[wt %]	[kgmol/kg]
CaO	0.00	000E+0	49.91	8.90E-03
MgO	0.00	000E+0	2.00	4.96E-04
CaSO4	0.00	000E+0		
CO2	0.00	000E+0	41.35	9.40E-03
C	59.64	50E-3		
H	9.63	96E-3		
N	0.38	271E-6		
S	0.12	37E-6		
HCl	0.50	137E-6		
H2O	0.08	46E-6		
Inert	22.23		6.74	
O	7.42	4.63E-3		
sum	100.00		100.00	

Table 5에 과잉공기(A/F ratio) 1.4인 조건에서 연소했을 때의 연소가스의 조성을 실험결과와 대비하여 나타내었다. RDF 1kg 연소에 필요한 연소공기 양

은 10.9Nm³/kg RDF이다. 이때 연소 배가스량은 Table5와 같이 11.4Nm³/kg RDF가 된다. 연소의 전환율은 약 50%, 질소산화물은 20%, SO₂는 60%로 계산된다. 순환유동층 연소로에서는 thermal NOx의 발생은 거의 없다.

Table 5. Flue Gas Analysis

	[conv .]	[kgmol/ kg]	[kg/kg]	[mg/ MJ]	[vol %]	[dry vol %]	[Nm ³ /kg]
SOx(S->SO2)	0.600	2.24E-5	0.001	52.8	0.004	0.005	
NO(N->NO)	0.170	4.61E-5	0.001	50.8	0.009	0.010	
N2O(N->N2O)	0.050	6.78E-6	0.000	10.9	0.001	0.001	
HC(C->CH4)	0.001	2.48E-5	0.000	14.6	0.005	0.005	
HCl	0.500	6.84E-5	0.002		0.013	0.015	
CO(C->CO)	0.003	1.49E-4	0.004	153.4	0.029	0.033	
CO2 from Fuel	0.983	4.88E-2	2.148		9.539	10.75	
CO2 from lime		2.23E-4	0.010		0.044	0.049	
H2O from Fuel		4.78E-2	0.861		9.337	10.52	
H2O from air		9.89E-3	0.178		1.933	2.178	
N2		3.75E-1	10.517		73.37	82.68	
O2		2.92E-2	0.936		5.715	6.441	
Dry flue gas		0.454	13.621				
Flue gas		0.512	14.660				11.4
Flue gas MW	28.6						

연소재의 발생량을 Table 6에 나타내었다. 순환유동층 연소의 연소재는 연소로의 바닥으로 빠지는 하부회와 사이클론을 거치고 대류전열부를 통과하여 백필터에서 포집되는 백필터회로 나누어진다. 순환유동층 연소에서는 대부분의 회가 백필터회로 회수된다. 특히 본 연구에 사용된 회나 앞으로 만들어질 설계에서는 하부회의 발생을 고려하여야 하기 때문에 전체회의 20% 범위에서 설계하기로 한다. RDF 1kg 연소시 Ca/(S+Cl2) = 2일 때 석회석 투입량은 0.24kg이 된다. 이때 발생하는 하부회는 0.05kg이며 백필터회는 0.2kg이 된다.

Table 6. Solid analysis

	[-]	[kgmol/ kg]	[kg/kg]	[kg/Nm ³]	[mg/Nm ³]
Ca in fuel		3.09E-4			
Ca in limestone		2.12E-4			
Solid discharge			0.249		
Unburnt C		6.70E-4	0.008		
Bottom Ash*	0.2		0.050		
Bag filter ash			0.199	0.017348	17,348
Convection pass ash					
Cyclone under	0.98		9.749		
Entrainment			9.948		
Particulate emission	0.995		0.001	8.67E-05	86.74

설계에 있어 중요한 인자중 하나는 보일러의 열효율 즉 여기서는 스팀 생산효율을 나타낸다. 작은 시험용 보일러의 열효율은 각 설비간의 단열이 부실하게 되고 보일러의 부피에 비해 단면적이 커서 방열손실이 매

우 커서 열효율이 낮다. 대체로 1MWth 미만의 보일러는 열효율이 60-70% 밖에 되지 않는다. 본 보일러의 설계 열효율을 Table 7에 나타내었다. 보일러 효율은 67.7%로 설계하였다. % 항목에서 (-) 값은 열손실을 나타낸다. 열손실 중 가장 큰 손실은 설계오차와 방열손실로 20%를 달하며 수분의 증발잠열과 폐열손실이 각각 6.4%와 7.5%를 나타낸다. 상업용 보일러에서는 증발잠열과 폐열손실이 가장 큰 열손실이다.

Table 7. Boiler efficiency

	temp [K]	solid [kg/kg RPF]	heat [kcal/kg RPF]	gas [kgmol/kg RPF]	heat [kcal/kg RPF]	Q [kcal/kg]	%
reference	298.15						
Environment	293						
Coal combustion		1	7825			7825	
Unburnt loss							-1.0
Radiation loss[%]	15				-1174	-1174	-15
Incoming dry air	333			0.4850	118	118	1.5
H2O lat. Fuel				0.0478	500	-500	-6.4
H2O lat. air				0.0099	104	104	1.3
coal specific	293	1	-0.93				-1
Sulfation/S		0.000	1.73				2
lime. calci/Ca		0.009	-13.3				-13
lime specific heat	293	0.009	-0.01				0
Bed drain	1123	0.050	7.42				-7
Gas to baghouse	453	0.199	5.57	0.5117	-591	-586	-7.5
Design margin [%]	5						-391
Boiler efficiency by HHV [%]	67.70						

RDF 전용 순환유동층보일러의 구조도를 Fig. 5에 나타내었다. 본 설비는 시범 연소보일러 이므로 보일러의 성능보다는 구조적 특징에 초점이 맞추어져 있다. 본 보일러의 특징은 외부유동층 전열관을 이용하여 열회수를 한다는 점이 특징이다. 전열관이 외부유동층에 위치함으로써 연소가스에 의한 열부식을 원천적으로 막을 수 있다는 점이 특징이다. 상용장치에서는 외부유동층 전열관에 최종과열기를 배치하여 과열기를 보호하는 것이 원칙이다. 증발기는 연소로 상부에 배치한다. 각각 배치된 전열관은 상대적으로 부식에 대한 저항능력을 시험하게 된다.

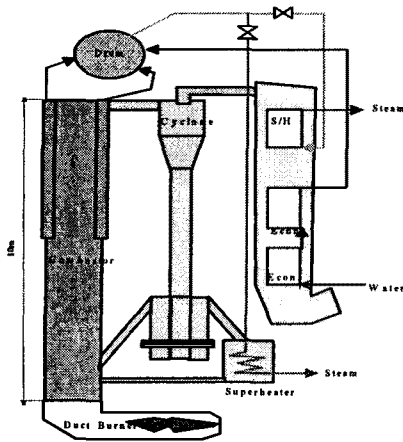


Fig. 5. P&I of the 100kg/h RDF

상업용 RDF 전용 순환유동층 보일러의 공정도를 Fig. 6에 나타내었다. 상용보일러 공정은 연소로 → 대류전열부 → 소석회 HCL 흡수 반응기 → 백필터 → 세정탑 (또는 활성탄 흡수탑)으로 구성된다.

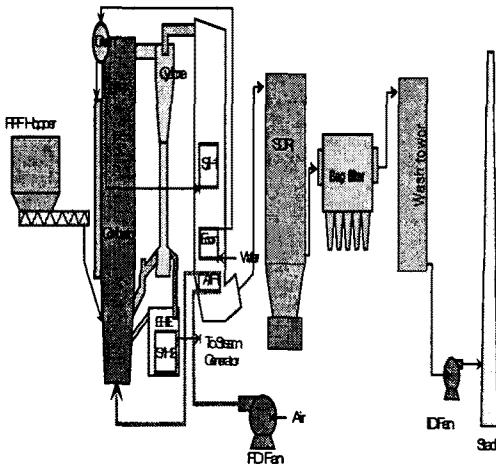


Fig. 6. P&I of the Commercial CFB boiler for RDF

4. 결론

본 연구에서 원료로 사용한 페플라스틱은 근원이 PE 계열 포장재이므로 만들어진 RDF의 발열량은 높고 염소성분은 적었다. 평균 발열량이 8000kcal/kg으로 비교적 높아 일반적인 연료 공급조건에서 연료의 용용으로 공급라인을 막을 우려가 있다. 또한 발열량이

높은 RDF는 연소로내 국부 과열을 가져오고 과열로 인한 기계부의 손상을 일으킬 수 있다.

10kg/h급 연소로의 시험결과는 제조된 RDF가 연소로에서 원활하게 연소하며 연료의 특성이 우수함을 나타내었다. 2차공기 등의 운전변수 조절로 안정적 운전이 가능하며 배연중 NOx, SOx 값이 환경기준 미만으로 제어 가능하였다. 염소가스의 경우에도 연소로내에서 100-150ppm 이었으며 석회석의 첨가에 따른 연소로내 탈염도 가능하였으며 투여된 석회석은 대류전열부에서 더욱 효과적으로 반응하므로 상용장치에서는 탈염소 효율이 클 것으로 예측된다. 연소로내의 석회석에 의한 탈염소와 생석회 흡수장치와 백필터를 거쳐 여러번 제거되면 염소의 배출량은 대기환경기준의 기타시설에 해당하는 6ppm을 만족시킬 수 있다고 본다.

이를 토대로 100kg/h급 RDF 전용 순환유동층 시험 보일러 개념 설계가 수행되었다. 대상연료는 본 사업의 참여기업에서 제조한 RDF를 설계연료로 하였다. 연료와 석회석의 성분분석, 연료연소에 따른 물질수지와 열수지 순서로 보고서에 서술하였다.

RDF를 연료로 하는 순환유동층 보일러는 열병합 보일러로서 9, 10) 석탄보일러를 대체하여 산업계에 바로 이용이 가능하다. 본 사업은 환경부 핵심환경 기술개발사업으로서 RDF 연소 표준 보일러 개발을 목표로 진행 중이다.

5. 참고문헌

1. D. Ducarne, E., Marty, E., Lucien, D., 1998, "Co-combustion of Coal and Municipal Solid Waste in a Circulating Fluidized Bed," Fuel, 77(12), 1311-1315.

2. IEA-FBC Year Report, 2001, International Energy Agency-Fluidized Bed Conversion, <http://www.abo.fi/fak/ktf/cmc/iea/start.html>.

3. Wang, K. S., Chiang, K. Y., Tsai, C. C., Sun, C. J., 1999, "Effect of Chlorides on Emissions of Hydrogen Chloride Formation in Waste Incineration," Chemosphere, 38(7), 1571-1582.

4. 박영옥 등, 2000, "하폐수 슬러지의 에너지화 재이용 기술개발," 한국에너지기술연구소 보고서 KIER-A02105, 249pp

5. 선도원 등, 2003a, "산업용 유동층 연소로 진단

및 개선방안 연구", 한국에너지기술연구원 보고서, 산업자원부.

6. 선도원 등, 2003b, "염색공단 슬러지 상용 순환유동층 소각기술 개발, 한국에너지기술연구원 보고서, 부산경남염색공단 협동조합.

7. 선도원 등, 1998, "열병합발전을 위한 순환유동층연소기술개발" 한국에너지기술연구원 보고서, 산업자원부.

8. 선도원 등, "슬러지와 페플라스틱 혼합 RPF연소 유동층보일러개발", 2004년도 차세대 사업 연차보고서, 한국에너지기술 연구원 (2005).

9. 신병철, 2000, "국내무연탄 활용을 위한 국산유동층 보급확대방안 타당성연구", 삼성엔지니어링(주) 연구보고서, 산업자원부 200-C-P-01, 416pp.

10. 정장섭, 2003, 열병합발전 기술 가이드 북, 에너지관리공단, 323pp.