

廢棄物 燃料의 순환유동층 燃燒技術[†]

*宣道元 · 裴達熙 · 李承龍 · 趙盛鎬

韓國에너지技術研究院

Circulating Fluidized Bed Combustion of Refuse Derived Fuel[†]

*Dowon Shun, Dal-Hee Bae, Seung-Yong Lee and Sung-Ho Jo

Korea Institute of Energy Research, 71-2 Jang-dong, Daedeok-gu, Daejeon 305-343, KOREA

요 약

페플라스틱과 건조 슬러지를 원료로 제조한 RDF (Refused Plastic Fuel)를 순환유동층 보일러에서 연소 하는 새로운 개념의 기술이 개발 중이다. 연소시험을 통해 RDF의 연소특성과 배연특성을 연구하여 설계 자료를 확보하였다. 연소성은 양호하였으며 중요한 공해물질인 HCl 발생은 150ppm 미만으로 나타났다. 기존의 석탄용 순환유동층 보일러와 RDF 전용 순환유동층 보일러의 차이점을 분석하고 순환유동층 RDF 전용 보일러 공정의 개념 설계를 수행하였다.

주제어 : 폐기물 연료, 순환유동층 보일러, 열병합 발전

Abstract

A new technology for refused derive fuel(RDF) utilization in circulating fluidized bed is under development. The RDF is tested in a bench scale circulating fluidized bed(CFB) combustor and its burning characteristics were investigated and collected as design parameters. The combustions were controllable and the HCl emission which is most important toxic emission were below 150 ppm at the exit of the combustor. The differences between conventional coal burning circulating fluidized bed boiler and the exclusive RDF boiler were studied and commercial scale co-generation CFB for RDF was designed.

Key words : Refused plastic fuel, Circulating Fluidized Bed Boiler, Co-generation

1. 서 론

국내의 산업발전과 경제성장, 문화수준의 향상 등으로 폐기물 발생량이 증가함에 따라 폐기물의 효율적인 처리가 중요한 문제로 부상되고 있으며 도시 인구의 증가와 더불어 늘어나고 있는 생활하수의 처리를 위한 하수처리장에서 발생하는 하수 슬러지와 공단 폐수를 처리한 폐수 슬러지의 규모도 계속 확대되고 있다. 따라서 환경문제가 주요한 관심사로 대두되고 하수 처리장에서 발생하는 슬러지의 처리방안이 심각한 문제가 되고 있다. 2003년 말 현재 전국에는 243개의 하수 종말처리장이 있으며 일 20,732 백만톤의 하수를 처리한다.

여기에서 발생하는 하수 슬러지량은 5,700톤/일 정도인데 이중 70% 정도가 해양 투기되고 있으며 나머지는 주로 단순 매립되고 있는 실정이다¹⁾.

수분을 80%이상 함유한 슬러지를 단순 매립할 경우 운반과 수송과정에서 악취발생과 매립으로 인한 침출수 발생으로 주변 환경을 오염시킬 수 있으며, 해양투기에 의한 슬러지 처리 또한 해양환경을 심하게 오염시킨다. 따라서 하수와 공장폐수를 처리할 때 발생하는 슬러지의 안전하고 위생적인 처리를 위해서는 신뢰할 수 있는 소각처리 기술의 도입이 불가피한 실정이다. 우리나라는 런던협약에 따른 이행의무에 따라 2003년부터 7월 1일부터 폐기물 관리법 시행령에 의거 하수 슬러지의 직매립을 제한하고 있다.

하수 슬러지의 적절한 처리를 위하여 여러 가지 방안

[†] 2005년 11월 14일 접수, 2006년 1월 10일 수리

* E-mail: dshun@kier.re.kr

이 검토되고 있으나 단순 소각이나 용융방식은 시설비와 유지관리비가 많이 드는 것에 비해 에너지의 회수가 불가능하며 재활용을 위한 기타의 방법들은 수분함량이 높고 유해물질을 잠재하고 있어 열악한 품질로 소비처를 찾기 힘들다. 따라서 보다 효율적이고도 경제적인 처리 대안이 요구되고 있다. 기존의 하수 슬러지의 단순 소각방법으로는 열회수를 할 수 없고 스토키 등의 소각로가 슬러지의 품질의 변화에 대응하기 어렵고 완전연소와 환경관리가 어려우며 스팀의 온도가 낮아 효율적인 에너지 이용이 불가능하다.

유동층 소각은 전 세계적으로 슬러지 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 소각로의 고온 부분에 moving part가 없기 때문에 보수 유지비가 적게 든다. 또한 유동층 소각로는 반응기의 열 전달이 우수할 뿐 아니라 별도의 공정 없이도 공해물질의 배출억제가 가능하고 수분을 많이 포함하고 있는 연료에도 적응이 뛰어나다는 장점이 있어 다양한 분야에서 적용되고 있다. 특히 외부 열교환식 순환유동층 방식을 도입할 경우 최종과열기의 부식을 억제할 수 있어 연소로 관리에 매우 효과적이다^{2,3)}.

해외에서는 슬러지를 에너지원의 하나로 간주하고 있으며 다양한 에너지 회수 기법이 적용되고 있다. 보편적으로는 순환유동층 연소에 의한 열이용이 있으며, 외국의 경우 유럽과 일본에서는 유동층 소각을 통한 하수 슬러지의 처리가 일반화되어 있으며⁴⁾, 오스트리아는 하수슬러지의 소각을 위하여 65개의 플랜트를 보유하고 슬러지의 경제적인 소각을 위하여 기술을 판매하는 단계이고, 중국은 대학 등에서 폐기물과 슬러지를 유동층 방식으로 소각하는 기술을 개발하고 있다.

RDF(RDF가 포함되는)의 연료 이용은 일본 유럽 등지에서 매우 활발하다(www.ica.org). 주로 순환 유동층 보일러를 이용하여 증기와 발전을 하고 있으며 ASTM STP 832에 규정되어있는 고품연료 1번부터 5번까지 다양하게 활용되고 있다. 우리나라와 다른 점은 통상 분쇄 후 압축성형이 된 것만을 RDF로 인정하는 것이 아

니라 연료의 염소함유량, 배연의 규제 등을 통해 실질적인 환경오염을 방지하는 점에 있다.

독일이나 오스트리아 등 유럽 국가에서는 우리나라와 같이 연료를 제한하지도 않으며 RDF의 성격의 규정도 회사에 맡기고 있으나 연료중 염소함량, 배연의 종류별 농도를 엄격하게 제한하고 있다. 보일러로 등록된 설비에 대해서 일체의 폐기물 투입을 금지하는 우리나라와는 접근방식이 다르다³⁾. 일본의 경우에도 산업체 발생 폐기물을 비롯하여 폐목재, RDF 등이 다양하게 연료로 사용되고 있으나, 개별 배출가스의 농도 제한에 엄격할 뿐 연료를 미리 제한하지는 않는다. 98%이상의 에너지를 해외에서 수입하는 우리나라가 오히려 폐기물 자원의 이용에 인색한 실정이다.

국내에는 RDF에 관한 규정이 없으며 현재까지 폐기물로 간주되고 있다. 다만 금년에 통과된 대체에너지개발및이용보급촉진법개정법률안(2004)⁵⁾에 의하면 폐기물중 RDF, RPF(refuse plastics fuel)가 대체에너지에 포함되어 있다. 또한 이 법안에는 제 17조에 신·재생에너지 발전가격의 고시 및 차액지원 규정을 두어 “산업자원부장관은 신·재생에너지 발전에 의하여 공급되는 전기의 발전원(發電源)별로 기준가격을 정하는 경우에는 이를 고시하여야 한다.”고 하여 대체에너지로 생산된 전기의 우대 구매를 규정하여 보급을 촉진하려 하고 있다.

한편 2005년 2월 3일 교토의정서 발효에 대비한 제 3차 정부종합대책(05~07년)⁶⁾에는 신재생에너지의 보급확대안이 확정되어있고 이러한 법 개정과 RDF 규격화 등이 마련되면 우리나라도 폐기물 에너지의 이용확대가 가능하다.

우리나라의 경우 하수슬러지의 소각시설은 단순소각이며 대부분 외국의 기술로 설계되고 있는 실정이다. 일부 연구기관이나 학교 등에서 공정개발 연구를 수행하고 있으나 아직은 소각 장치의 설계와 운전, 대형화 기술에 있어서 실증과 기술검증이 필요한 상황이다. 더욱이 개발중인 연구는 주로 단순소각이나 현행법상 폐기물로 분류되는 RDF에 관한 제조기술 정도이다. 한편 일부 소각로 제작업체들은 정부에서 하수슬러지의 매립이나 해양투기를 금지한다는 법제화에 힘입어 소각기술 개발을 서두르고 있고, 공단 주변의 일부 소규모 공장에서 산업폐기물을 대상으로 소각로가 개발되고 있어 시장규모가 확대되어가고 있다.

따라서 새로운 개념의 하수슬러지의 재활용처리기술로 건조 슬러지를 혼합한 RDF의 제조기술을 제안할 수 있다. 이는 하수슬러지 전처리 공정(탈수·건조),

RDF의 제조 그리고 최종 활용부문인 연소에 의한 대체 에너지 생산까지의 일관 기술로 개발하는 것이 현실적인 실행 방안이다. 본 기술은 폐기물활용을 위한 2003년 환경부 고시(환경부고시 2003-127호)와도 적합하다. 본 기술의 내용은 하수종말처리장에서 배출되는 하수 슬러지를 생활계나 사업장의 폐플라스틱과 함께 고형화하여 RDF를 제조하고 이를 새로운 개념의 순환유동층 열병합 보일러에서 연소하여 에너지를 회수하고 폐기물을 안전하게 처리하고자 하는데 목적이 있다. 본 기술의 구성은 첫째 슬러지와 폐플라스틱으로부터 고품질의 RDF를 제조하는 공정을 실증하고 배연제어와 전연관의 부식방지 기능이 완벽한 새로운 국산 고체연료 연소 순환유동층 보일러에서 안전 연소를 실증하는 두 가지 기술이 결합된 일관공정이어야 한다.

RDF를 연료로 하는 보일러에는 순환유동층 연소기술이 가장 적합한 것으로 알려져 있으나 이를 일반 순환유동층 보일러로 쉽게 대체할 수 없어 RDF 전용 보일러의 개발이 필요하다. 기존의 순환유동층 보일러가 대체될 수 없는 이유와 전용 보일러 개발에 있어 기술적으로 중요한 내용은 다음과 같다.

(1) 폐기물을 원료로 하는 연료이므로 유해물질을 함유할 우려가 있다. 아무리 조심을 하여도 폐플라스틱 중에는 PVC가 혼입되며, 슬러지 중에서도 무기염소 즉 NaCl이 유입된다. 그밖에 생활 폐기물 중에서 폐플라스틱을 취할 경우 수은, 납, 브롬 등 유해성분이 RDF에 혼입될 가능성이 있다. 이는 연소중, 연소후에 위험한 오염물질을 발생한다. 배연중 HCl 농도는 산성가스로서 자체의 유해성 뿐 아니라 dioxine의 전구물질로서 RDF 제조와 연소전후에 철저한 관리가 절대적으로 요구된다. 또한 순환유동층 연소로의 내부는 철제 수관으로 구성되어 있고 내부에 다양한 열교환기가 설치되어있다. 산성 가스는 고온에서 강력한 부식을 일으켜 보일러의 수명을 단축시키고 때에 따라서는 열교환기 폭발 등 안전사고를 일으킨다. 열교환기는 공기에열기, 절단기, 증발기, 과열기 등으로 구성되어 있으며 폐기물 연소에 가장 취약한 부분은 과열기이며 이중에서도 특히 최종과열기가 취약하다. 기존의 소각로나 소각 보일러는 과열기 부식 때문에 과열기를 사용하지 못하며 폐열보일러를 이용하게 되어 최대 300°C, 15기압의 증기 생산은 불가능하다. 이에 대해 개발이 필요한 신기술로는 최종과열기를 외부 열교환기에 배치하여 최종과열기를 보호하고 외부 열교환기로 순환하는 입자 흐름을 비 기계적 밸브로 조절하여 기계부의 고온부식을 방지하는 기술 등이 있다.

(2) RDF는 플라스틱을 주원료로 하고 있고 플라스틱은 100°C 이상의 온도에서 이미 변형이 시작되어 녹는다. RDF를 고온의 연소로에 투입할 때에는 연료가 feeding중 녹아서 투입관을 막는 일이 없도록 하여야 한다.

(3) RDF는 휘발성이 강한 연료의 특성상 저장 보관에 어려움이 있다. 2003년 8월 14일 일본 三重縣 多度町 소재 三重폐기물 고형연료 발전소 저장조 폭발사고로 2명이 사망하고 5명이 부상하는 대형참사를 빚었다. RDF는 밀폐된 저장조 내에서 외기온도가 상승하며 휘발분이 계속 증발하여 저장조 내 인화물질이 가득 차게 되고 가스압이 높아져 약간의 인화요인만 있어도 발화 폭발하게 된다. 이는 RDF 연료의 저장기술이 매우 어려움을 보여주는 사례이다. 또한 플라스틱 연료는 고유한 탄성이 있어 저장조 내에 높게 쌓을 경우 아래가 다져져서 공급이 어려워지는 등 기존 연료와는 다른 다양한 어려움을 지니고 있다.

2. 시료 및 실험방법

상용보일러 설계를 위한 변수연구를 위하여 10 kg/h 급 순환유동층 연소 시험장치에서 RDF의 연소를 통한 연소특성과 배연특성을 분석하고 운전자료를 확보하였다. 본 연구를 위해 사용된 장치의 구성도는 Fig. 1과 같다^{7,8)}. 연소로 하부(combustor)는 내경 5" tubular 형 Stain less(SS)관으로 길이는 2200mm이다. 연소로 하부와 공기 분배 상자 사이는 유동화 공기를 공급하는 공기 분산판으로 구분되어 있다. 연소로 하부에는 외부 water jacket을 설치하여 연소로의 과열을 막았다. 연소로 상부(free board)는 6" SS관으로 길이는 5m이다. 연소로 하부는 연료공급장치, 공기주입 및 연소가스 배출장치, 온도·압력 감지설비가 설치되어있다. RDF는 screw feeder를 통해 연소로(공기 분배기 위 1.25 m)로 공급한다. 공급공기는 1차공기와 2차공기로 나누어지며, 1차공기는 분산판 하부로, 2차공기는 분산판 위 2.1 m 지점에서 공급한다. 연소로의 loop seal에서는 회재의 유동과 재순환을 위해 유동화 공기를 분산판을 통해 별도로 공급한다.

RDF의 연소과정은 다음과 같이 설명된다. RDF는 주입구를 통해 연소로 하부로 중력으로 투입된다. 연소로 하부는 충밀도가 높고 고온이 유지되며 공급된 연료는 휘발되며 동시에 연소공기에 의해 발화한다. 고속유동상태인 순환유동층 연소로에서 연소재는 비산하며 일부는 연소로 벽면을 따라 하강과 비산을 반복하는 내부순

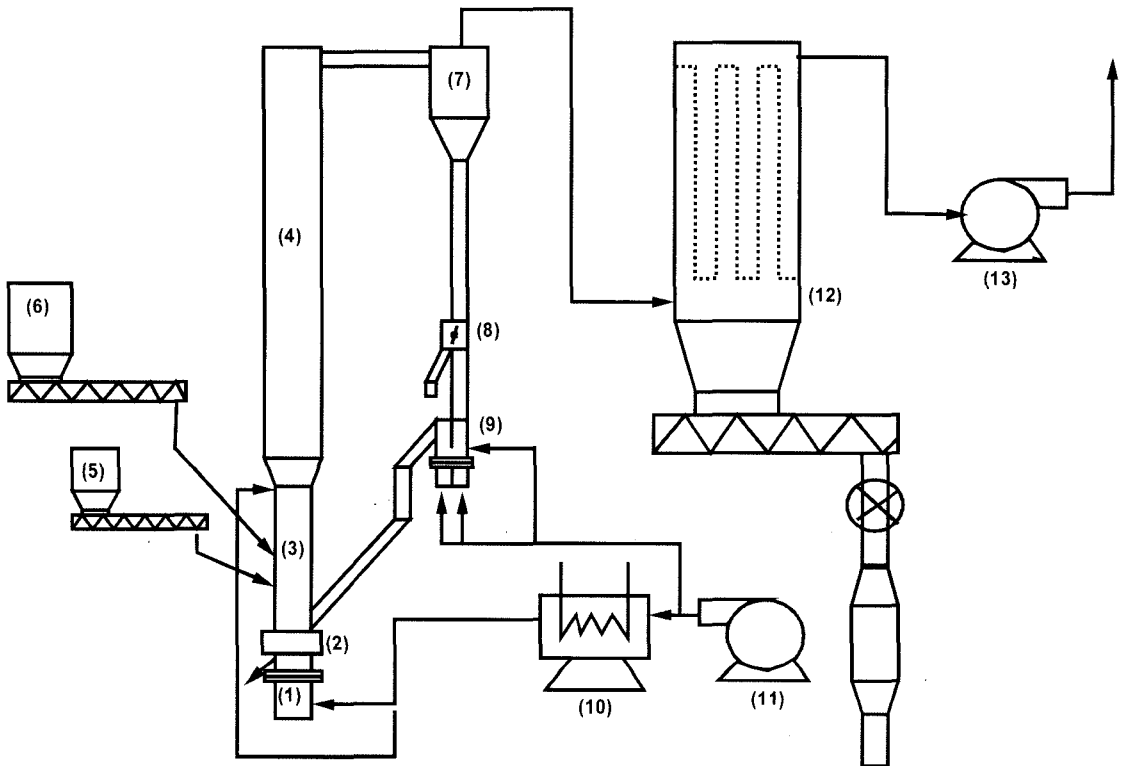


Fig. 1. Process diagram of CFB combustor

(1) Air box, (2) Water jacket (3) Combustor, (4) Free board Heat transfer tube, (5) Feeder1, (6) Feeder2, (7) Cyclone, (8) Solid flow diverter, (9) Loop seal, (10) Air preheater, (11) F.D. fan, (12) Bag filter, (13) I.D. fan

Table 1. Analysis of waste and produced RDF.

Sample, Wt%	Moisture	Volatile	Ash	F.Carbon	Sulfur	Carbon	HCl	HHV (kcal/kg)
Dried Sludge	5.4	51.9	42.7	-	1.24	27.25	0.1	2641
Agricultural PE film	0.59	97.2	0.1	2.1			0.2	10550
RDF from municipal waste (04-004)	0.09	65.7	33.2	1	0.14	63.4	0.6	6889
RDF from municipal waste (04-005)	0.08	76.8	22.2	0.9	0.17	76.9	0.1	8213

환을 하며 입경이 작은 나머지 회재는 연소로를 빠져나가 사이클론에 인입된다. 사이클론에서 포집된 회재는 dip leg를 따라 loop seal에 도착하면 dip leg공기와 return leg 공기에 의해 유동화 되고, dip leg 측면의 aeration 공기에 의해 이송되어 연소로로 재 주입된다. 이때 각각의 공기량은 유량계로 조절 한다. 연료의 조성은 Table 1과 같다. Dried sludge와 Agricultural PE film은 RDF를 만드는 원료 폐기물을 의미하며 RDF(04-004)와 RDF(04-005)는 생산된 RDF를 나타낸다. 본 연구에서는

RDF(04-005)를 사용하여 실험을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

연소시험에 사용된 RDF는 04-005이며 10 kg/h의 유량으로 연소로에 주입하였다. 주입 열량은 80 kW에 해당한다. 연소공기의 유량은 전체 100 Nm³/h로서 과잉공기는 70%를 나타낸다. 연소에 따른 축방향 온도분포를 Fig. 2에 나타내었다. 연소로는 투입구 상부에 과열이

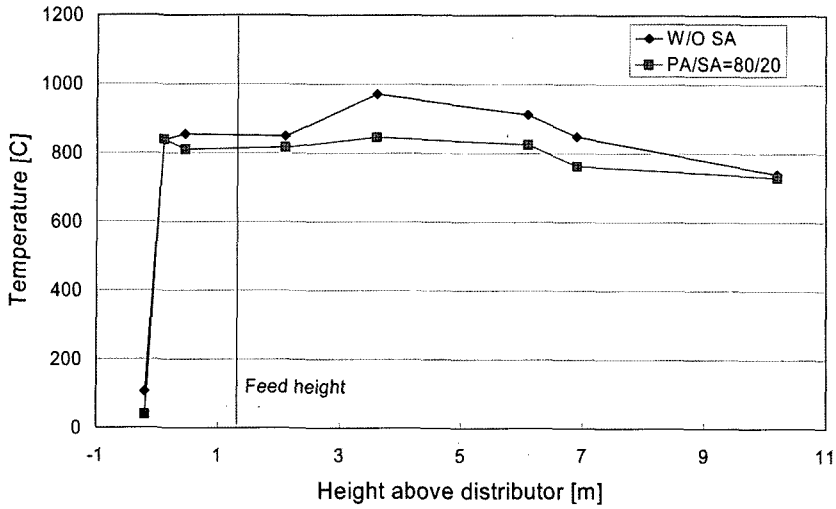


Fig. 2. Vertical temperature distribution of the combustor(W/O SA with out second air, PA/SA=80/20 primary air/secondary air).

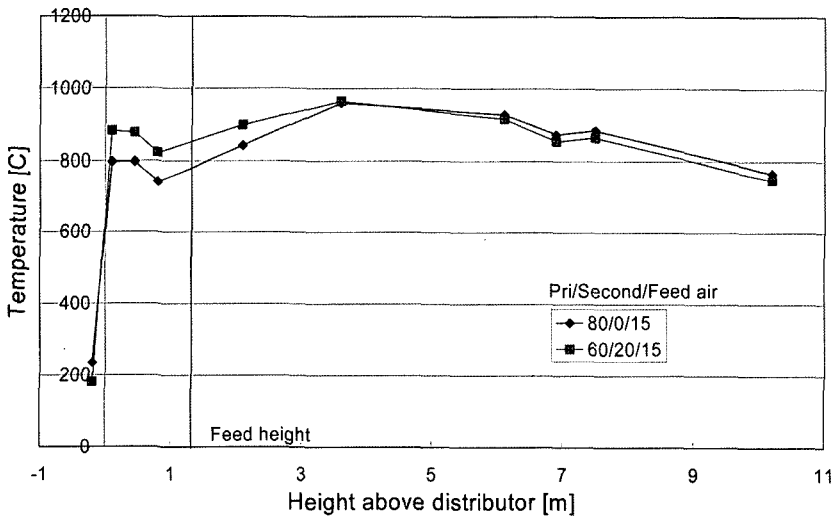


Fig. 3. Effect of feed and second air on the vertical temperature of the combustor.

나타난다.

국부과열의 주 원인은 연료가 고정탄소가 거의 없는 휘발분이 주 성분인 연료이며 따라서 연료가 주입된 후 가열되고 점화되는 시간이 극히 짧아 투입과 거의 동시에 연소가 일어나는 때문으로 이해된다. 따라서 연료투입 라인 상부에 과열점이 형성된다. 연소로의 국부 과열은 보일러 운전관리에 장애가 되며 위험요소이다. 이를 해소하기 위하여 연소공기를 분배하여 유동층 하부 공급되는 1차공기를 전체 공기의 80%를 주입하고 연료 공급 위치 보다 높은 위치인 2차공기를 20%주입하였다. 2차

공기는 연소를 유동층의 농후상과 유동층 상부의 희박상에서 나누어 일어나게 하는 효과와 더불어 약간의 냉각 효과도 일으키게 된다. 또한 2차공기가 1차공기에 의해 비산된 미세 입자를 다시 추진하여 사이클론으로 보내줌으로서 가열된 순환입자의 양을 증가시키고 이 입자가 재순환함으로써 연소로내 축방향으로 고른 온도분포를 나타내는 것으로 판단된다. 공기의 분배주입의 결과로 Fig. 2와 같이 연소로내 투입구 상부의 국부과열이 해소되어 축방향으로 비교적 평탄한 온도분포를 나타낸다.

Fig. 3에서는 2차공기를 연료 공급라인의 상부에 주입

하는 대신 연료 공급라인을 통해 주입하는 방법이 시도되었다. 2차공기를 연료라인을 통해 공급하게 되면 연료를 호퍼에서부터 연소로 내부까지 공기의 추진력에 의해 빨리 공급할 수 있다. 2차공기가 없는 경우 연소로 하부의 온도가 상대적으로 낮게 나타나는데 이는 2차공기 없이는 입자의 추진력이 낮아 입자순환이 적게 일어나는 것으로 판단된다. 따라서 2차공기 공급은 연소로의 과열을 막는 것 뿐 아니라 입자의 순환을 원활히 하는 효과가 있어 연소로의 높이방향 온도 편차를 줄이기 위해 설계에 반영하여야 할 필요한 수단으로 판단되었다.

Fig. 4에는 RDF 연소에 따른 배연특성을 나타내었다. 역시 연료가 함유하고 있는 황과 염소의 함량이 낮아 배연중 이들의 함량은 낮은 편이었다. SO₂는 50 ppm 내외이었으며 HCl은 100-150 ppm을 나타내었다. NO_x

는 유동층 연소의 특징인 thermal NO_x 억제 특성으로 100-150 ppm을 나타내었다. 시험연소로 특성상 완전한 온도제어가 어려워 CO의 배출이 기복을 나타내었으나 결국 수백 ppm 이하에서 제어 되었다⁹⁾.

석회석 주입에 따른 탈황효과를 Fig. 5에 나타내었다. 석회석을 사전에 RDF와 무게비 0.3:1로 혼합하여 연소로에 공급하였다. 상용장치에 비해 짧은 체류시간과 실험장치의 특성상 낮은 재순환 비율에도 시간이 경과함에 따라 연소로내에서 연소중 HCl을 흡수하는 경향이 나타났다. 기포유동층 연구 사례에서는 연소 영역의 온도가 대개 800°C 이상인 연소로내에서도 HCl의 흡수효과는 활발하다고 알려져 있다¹⁰⁾. 그러나 순환유동층 상용장치에서 석회석은 연소로 보다 온도가 낮은 대류전 열부에서 주로 HCl을 흡수한다. 그러나 순환유동층 연

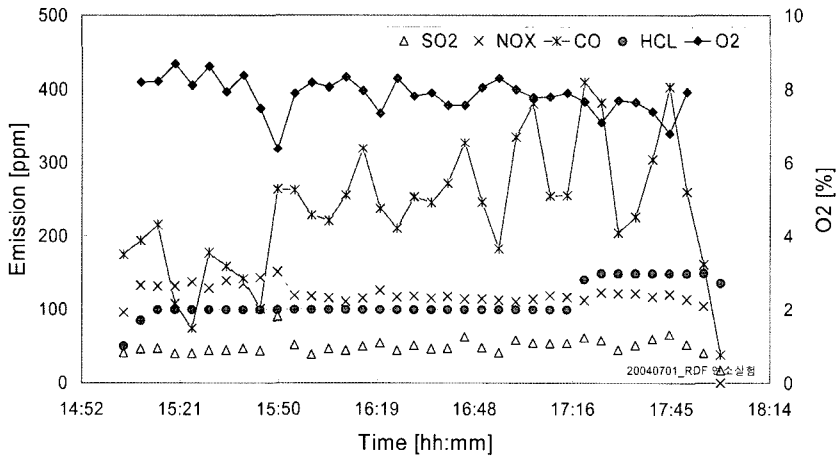


Fig. 4. Emission characteristics of flue gas from RDF combustion.

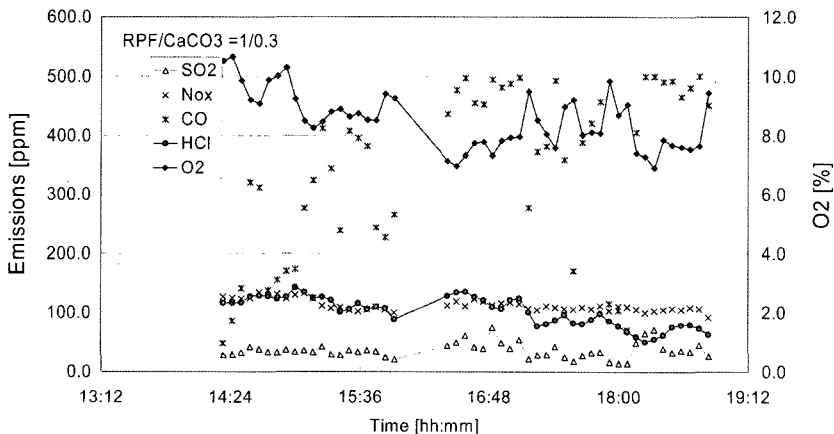


Fig. 5. Effect of limestone on HCl absorption in the flue gas.

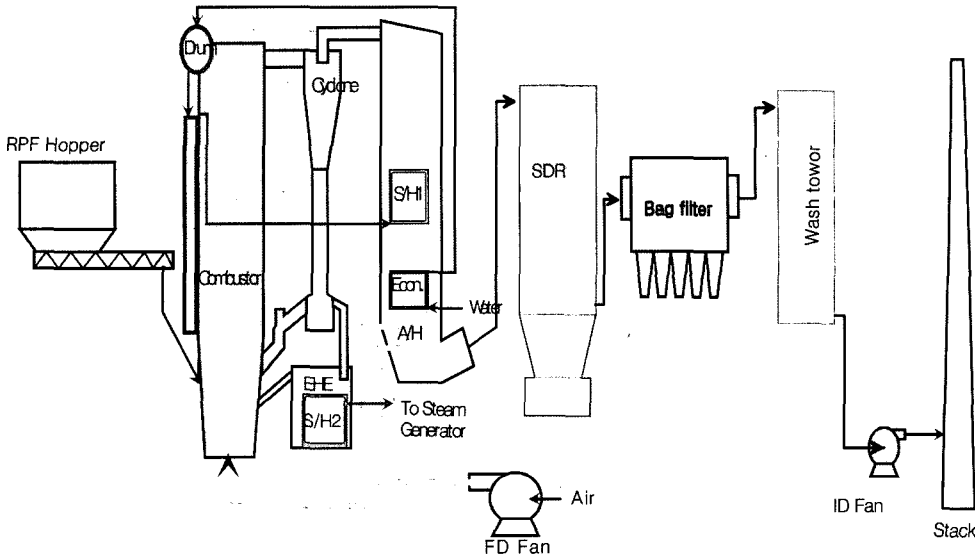
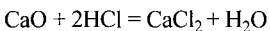
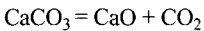


Fig. 6. Process diagram of a commercial CFBC boiler for RDF.

소로에서는 석회석을 연료와 함께 연소로에 투입할 경우 먼저 연소로에서 850°C에서 CaCO_3 가 CaO 로 분해되고 분해된 생석회가 미분화 될 때 까지 연소로내에서 계속 HCl을 흡수하고 다시 사이클론을 통해 대류전열부로 빠져나가면서 상대적으로 저온(750°C)에서 HCl을 다시 흡수하게 되어 기포유동층 연소로의 경우보다 더욱 효과적인 염소제거 효과를 보이게 된다¹¹⁾.

탈염소 반응의 반응 기작은 다음과 같다.



투입된 석회석은 대류전열부에서 더욱 효과적으로 반응하므로 상용장치에서는 탈염소 효율이 매우 클 것으로 예상된다. 폐기물 연소에 의해 생성된 HCl은 연소로내의 석회석에 의한 탈염소과정과 공해방지 시설인 반건식 세정탑, 그리고 백필터를 거치는 동안 여러 번에 걸쳐 제거되며 이후 최종적인 염소의 배출량은 대기환경기준의 기타시설에 해당하는 6 ppm을 만족시킬 수 있다고 본다¹²⁾.

모든 연소상태는 조절 가능한 범위 내에 있었으며 배출회중 미연분은 검출 가능한 범위 이내였다. 측정가능한 미연분은 분석기에 나타난 CO 뿐이었으므로 발열량 기준 연소성은 거의 100%로 간주하였다. 따라서 시험에 사용된 RDF는 연소성이 뛰어난 것으로 판단하였다.

산업용 RPF 전용 순환유동층 보일러의 공정도를

Fig. 6에 나타내었다. RDF 전용 보일러의 설계 시에는 석탄 연소보일러와는 달리 HCl의 배출과 이에 따른 보일러 수관의 부식을 가장 염려하여야 한다. 또한 배연으로 배출되는 HCl과 염소가스로부터 기인하는 dioxine의 제거를 위해 석탄연소보일러와 차별화 되는 공해방지 시스템이 요구된다. 상용보일러 공정은 염소가스에 의한 열교환기의 부식을 방지하기 위하여 최종과열기를 외부 열교환기에 배치하고 입자순환 방식을 비 기계적으로 하였다. 상용보일러에서 흔히 사용되는 전기 집진기 대신 HCl 흡수반응기와 백필터를 설치하여 HCl과 dioxine 제거효과를 증가 시켰다. 연소가스의 흐름 방향은 연소로 → 대류전열부 → 소석회 HCl 흡수 반응기 → 백필터 → 세정탑(또는 활성탄 흡수탑)으로 구성된다.

4. 결 론

국내 슬러지 발생현황과 이용방안을 국내의 입법 및 기술 현황과 외국의 사례를 중심으로 조사하였다. 일본은 우리나라와 같이 성형된 폐기물 연료만을 RDF(ASTM 5)로 인정한다. 그러나 구미 여러나라 들은 파쇄한 폐기물 연료부터 성형된 제품까지 다양한 형태의 폐기물 연료를 인정하고 있다.

10 kg/h급 연소로의 시험결과는 제조된 RDF가 연소로에서 원활하게 연소하며 연료의 특성이 우수함을 나타내었다. 2차공기 등의 운전변수 조절로 안정적 운전

이 가능하며 배연중 NOx, SOx 값이 환경기준 미만으로 제어 가능하였다. 염소가스의 경우에도 연소로내에서 100-150 ppm 이었으며 석회석의 첨가에 따른 연소로내 탈염도 가능하였으며 상용장치에서는 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 6 ppm을 만족시킬 수 있다고 본다.

이를 토대로 상용 RDF 전용 순환유동층 시험 보일러 개념 설계가 수행되었다. 대상연료는 본 사업의 참여기업에서 제조한 실제로 유통중인 Table 1의 RDF 04-005를 설계연료로 하였다.

RDF를 연료로 하는 순환유동층 보일러는 열병합 보일러로서^{13,14)} 석탄보일러를 대체하여 산업계에 바로 이용이 가능하다. 본 사업은 환경부 핵심환경 기술개발사업으로서 RDF 연소 표준 보일러 개발을 목표로 진행 중이다.

참고문헌

1. 환경부, 2004: 2003 전국폐기물 발생 및 처리현황, 환경부 생활폐기물과, 행정간행물.
2. 선도원 등, 2003a: "산업용 유동층 연소로 진단 및 개선 방안 연구", 한국에너지기술연구원 보고서, 산업자원부.
3. 선도원 등, 2003b: "염색공단 슬러지 상용 순환유동층 소각기술 개발, 한국에너지기술연구원 보고서, 부산경남염색공단 협동조합.

4. IEA-FBC Year Report, 2001: International Energy Agency-Fluidized Bed Conversion, <http://www.abo.fi/fak/ktf/cmc/iea/start.html>.
5. 산업자원부, 2004: 대체에너지개발및이용/보급촉진법개정 법률안, 신에너지및재생에너지개발/이용·보급촉진법 입법예고, 산업자원부.
6. 국무총리, 2005: 교토의정서 발효에 대비한 제3차 정부종합대책(05-07년) 확정, 국무총리 국무조정실 보도자료.
7. 선도원 등, 1998, "열병합발전을 위한 순환유동층연소기술개발" 한국에너지기술연구원 보고서, 산업자원부.
8. 선도원 등, "슬러지와 페플라스틱 혼합 RDF연소 유동층 보일러개발", 2004년도 차세대 사업 연차보고서, 한국에너지기술연구원 (2005).
9. D. Ducarne, E., Marty, E. and Lucien, D., 1998: "Co-combustion of Coal and Municipal Solid Waste in a Circulating Fluidized Bed," Fuel, 77(12), 1311-1315.
10. Piao, G, Aono, S., Kondoh, M. and Yamazaki, R., 2000, Combustion test of refuse derived fuel in a fluidized bed, Waste Managements, 20, 443-447.
11. Tagashira, K., Torii, I., Myouyou, K., Takede, K., Mizuko, T. and Tokushita, Y., 1999: Combustion characteristics and dioxine behavior of waste fired CFB, Chemical Engineering Science, 54, 5599-5607.
12. Wang, K. S., Chiang, K. Y., Tsai, C. C. and Sun, C. J., 1999: "Effect of Chlorides on Emissions of Hydrogen Chloride Formation in Waste Incineration", Chemosphere, 38(7), 1571-1582.
13. 신병철, 2000: "국내무연탄 활용을 위한 국산유동층 보급 확대방안 타당성연구", 삼성엔지니어링(주) 연구보고서, 산업자원부 200-C-P-01, 416pp.
14. 정장섭, 2003: 열병합발전 기술 가이드 북, 에너지관리공단, 323pp.



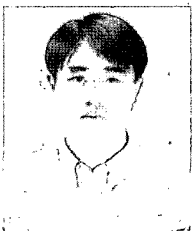
宣道元

- 1984 한양대학교 대학원 화학공학 석사
- 1990 (미) Utah대 대학원 연료공학 박사
- 1992 한국동력자원연구소 선임연구원
- 현재 한국에너지기술연구원 책임연구원



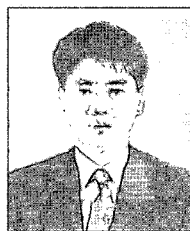
裴達熙

- 1995 충남대학교 화학공학 석사
- 2002 충북대학교 화학공학 박사
- 현재 한국에너지기술연구원 선임기술원



李承龍

- 2006 공주대학교 재료공학 석사
- 현재 한국에너지기술연구원 기술기능원



趙盛鎬

- 1994 충북대학교 환경공학 석사
- 2002 충북대학교 화학공학 박사
- 현재 한국에너지기술연구원 선임기술원