

순환유동층보일러의 연료유연성 실증연구

*배 달희¹⁾, 선 도원

The fuel flexibility of CFBC boiler

*Dalhee Bae, Dowon Shun

Key words : CFBC, RDF, 슬러지, 저급석탄, 혼소, 연료의 유연성

Abstract : Fuel flexibility of CFBC boiler was examined. Combustion characteristics of low grade coal, coal sludge, coal RDF mixture and RDF were compared. The operation result of a commercial 130TPH CFBC co-generation boiler burning a low grade Chinese coal were analysed. Burning characteristics of coal/RDF mixture and coal and industrial sludge mixture were studied in a 0.1MWth scale CFBC test rig. Also RDF fuel were tested in a 8TPH CFBC test facility. Though fuel characteristics were different, the combustion modes were all very stable. The temperature were maintained in between 800-950℃.

subscrip

RDF: refuse derived fuel

1. 서론

국내외 산업발전과 경제성장, 문화수준의 향상 등으로 폐기물 발생량이 증가함에 따라 폐기물의 효율적인 처리는 중요한 문제로 부상되고 있다. 또한 도시 인구의 증가와 더불어 늘어나고 있는 생활하수의 처리를 위한 하수처리장의 건설이 전국적으로 증가되고 있고 공단 폐수를 처리한 폐수슬러지의 규모도 계속 확대되고 있다.¹⁾ 따라서 환경문제와 고유가시대의 에너지 자원화가 주요한 관심사로 대두됨에 가정이나 산업체에서 발생하는 폐기물의 안정적 처리 및 에너지화 방안의 필요성이 각광을 받고 있다.

순환유동층연소는 다양한 연료, 환경, 효율 등을 만족시킬 수 있는 여러 장점을 가지고 있는 연소 방식으로 알려져 있다. 특히 최근에는 높은 연료적용성 즉 회분함량, 황함량 혹은 수분 및 발열량이 다른 각종 연료 등 넓은 범위의 연료를 수용하며, 전통적인 석탄 보일러에서 사용할 수 없는 고회분 저열량 석탄도 높은 효율로 연소시킬 수 있다는 점 때문에 고유가 시대에 더욱 적합한 기술로 인정받고 있다.

이에 본 발표에서는 그동안 수행한 연구 중 순환유동층보일러에서 서로 다른 연료의 연소특성을 소개하고자 한다.

2. 연구개요 및 실험결과

2.1 질 저급탄 연소특성

1) 연구의 범위

본 연구는 상용순환유동층열병합설비에서 비교적 열량이 낮고, 회분이 많고, 입자가 커서 유동성이 좋지 않아 연소성이 난해한 저급석탄에 대한 안정적 운전과 효율 분석에 있다.

2) 설비 사양

가. 용량 : 스팀 130 t/h * 2기

나. 연료 : 저급석탄

다. 스팀 : 98atm, 540℃

라. 전기 : 25MWe

3) 연소특성

가. 입자의 크기가 매우 큰 경우 유동성이 좋지 않아 층 높이를 낮게 유지함으로써 연소효율이 낮다.

나. 회분이 많고 휘발분이 적은 경우 연소성이 낮아 비산회에 미연탄소성분이 많게 되어 연소효율이 낮다.

다. 특히 운전자의 잦은 운전조건 조작은 안정적인 운전을 방해하여 연소 및 보일러 효율에 부정적 효과가 있다.

라. 그림은 약 3개월간의 운전결과를 나타낸 그림이다. 다양한 변수조작과 운전교육을 통

1) 한국에너지기술연구원

E-mail : dalbae@kier.re.kr

Tel : (042)860-3674 Fax : (042)860-3134

해 약 10%의 원가절감을 할 수 있는 방안을 제시했다.

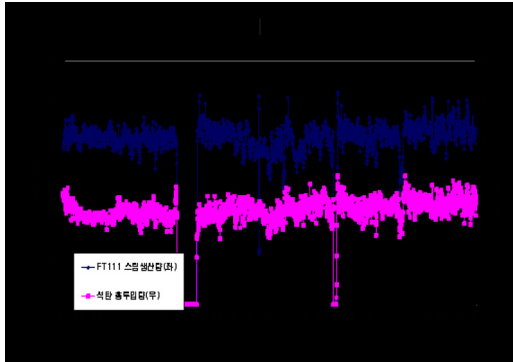


그림 1. 석탄투입량과 스팀생산량 변화

2.2 절 석탄과 슬러지 혼소 특성

1) 연구범위

본 연구는 유연탄 보일러에 회사자체에서 발생한 폐수 슬러지를 처리하기 위한 연구로서 연구범위는 다음과 같다.

가. 공업분석, 원소분석, 열량분석, 중금속 함유량 측정 등을 통한 슬러지와 회재의 특성 분석으로 열수지 및 물질수지 계산

나. 실험실 장치에서 조업변수(과잉공기량, 공기 주입 속도, 층높이)에 따른 유동층 소각 특성 분석 및 배연측정

다. 유동층 슬러지 건조장치의 적용성 검토 및 적정 건조범위 설정

라. 상용 공급 장치의 적용성 검토 및 적정 운전범위 설정

마. 상용 장치에서 연속 운전 시험예측

2) 실험설비

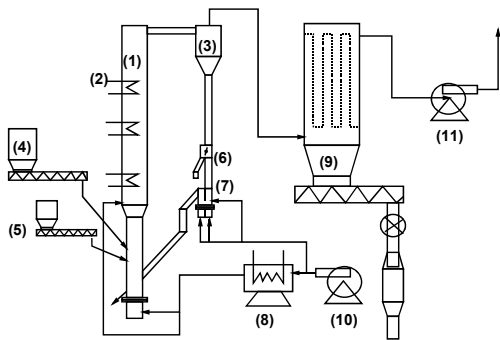


그림 2. 순환유동층 시험연소로 공정도

(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

3) 연소특성

가. 그림3은 석탄과 슬러지를 혼합 투입할 때의 연소로 축방향온도 분포를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 순환유동층 연소로에서 석탄과 슬러지의 혼소는 슬러지 함유율 82.5% 일 때 석탄/슬러

지 혼합비가 80/20이 될 때까지 양호하고 원활하게 이루어졌다.

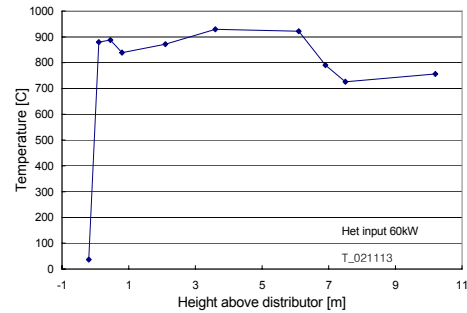


그림 3. 석탄/슬러지 혼소에 따른 축방향 온도분포

나. 실험장치에서의 연소효율은 95% 이상으로 석탄만 연소하였을 때와 차이가 없게 나타났다.

다. 슬러지 연소에 따라 나타나는 배연특성 중 NOx의 발생은 석탄만을 연소했을 경우와 거의 유사하였다.

라. SO₂는 석탄의 낮은 황 함량과 슬러지가 함유한 Ca 등 알칼리 금속에 의하여 흡수되어 배연농도가 매우 낮았다.

마. 배연중 Cl₂은 6ppm 미만으로 나타났으며, HCl은 불검출이었고, HCN은 17ppm 미만으로 나타나 유기질소나 HCl의 배출우려는 없는 것으로 나타났다.

바. Cl은 주로 비산회에 농축되었으며 하부회에는 잔류하지 않았다.

사. 석탄/슬러지 혼소에 따라 슬러지 수분에 의한 증발잠열손실로 함수율 82.5% 슬러지 20% 혼소시 약 2.1%의 보일러 효율감소가 일어난다.

2.3 절 RDF와 석탄 혼소 특성

1) 연구범위

본 연구는 상용 순환유동층 열병합 보일러인 B사의 보일러에서 석탄과 RDF의 혼소를 통하여 실증가능성을 증명하고 에너지의 최적회수 기술을 입증하기 위한 연소 방법 예측하기 위한 것으로 연구내용은 다음과 같다.

가. RDF 혼소가 보일러 운전 및 관리에 미치는 영향분석

나. 석탄과 RDF의 혼소범위에 따른 운전특성 사전 분석

다. 보일러 운전조건 설계

라. 부식성 가스에 의한 영향 조사

2) 연소설비 사양

가. 용량: 80t/h*2기

나. 스팀: 102atm, 490°C

다. 연료: 유연탄

라. 전기: 19MWe

3) 연소특성

RDF를 생산하여 이를 기존 순환유동층열병합 보일러에서 혼소하는 방법은 고형폐기물의 혁신적 처리공정일 뿐 아니라 최적의 에너지 회수

기술이다. 연구대상 보일러에서 RDF를 중량비로 20% 혼소하는 경우에 대해 보일러의 성능을 물질수지와 열수지로부터 예측하고 연소를 함유한 연료의 영향을 부식과 HCl 배출특성 분석했다.

가. RPF를 석탄과 혼소하는 것으로 예측하기 위하여 물질 및 열수지를 가상하고 20%의 혼소에 대한 설계값을 비교하였다. 회분이 많은 RDF를 석탄과 혼소하는 경우 특히 하부회와 비산회(bag ash)가 증가하는 경우가 있다. 본 모델에서는 석탄/RDF혼소의 경우 비산회는 431에서 903kg/h로 하부회는 156에서 226kg/h로 현저하게 증가하였다. 회분의 증가는 연소로 내의 온도분포에 영향을 미쳐 연소로 하부와 상부의 온도차가 줄고 증발기(water wall)의 열전달을 증가시켜 연소로 출구온도가 낮아질 수 있어 주의 를 요한다.

나. HCl의 제거를 위해서는 탈황과 같은 방법으로 석회석을 노내에 주입할 수 있다. 탈황과 다른 점은 반응이 750℃ 전후에서 많이 일어나므로 연소로 내부가 아닌 대류 전열부에서 주로 탈염소가 일어난다.

다. 대상보일러는 대류전열부의 가스 체류시간이 짧아 dioxine의 재생성은 낮을 것으로 판단된다. 그러나 해당 보일러가 세정집진기(예, 습식세정집진기)가 없고 백필터 대신 ESP로 이루어진 방지시설이므로 배연 탈염이 현재는 불가능하다. 따라서 연료 제조공정에서의 유해성분 제어와 감시가 더욱 절실하게 요구된다.

라. 다이옥신류의 배출을 제어하기 위해 현재 가동하고 있는 대기오염방지시설은 습식세정기, 건식세정기, 전기집진기, 백필터 등이 있으며, 이들 방지시설 중 건식세정기와 백필터를 연결에서 이용하는 것이 다이옥신류를 제거하는데 효율이 가장 좋은 것(약 97% 제거율)으로 조사되었으며, 습식 세정기와 응축장치의 이용이 효율을 가장 낮게 하는 것으로 조사되었다.

마. 열교환기의 부식에 대비하여 상용보일러에서 적용되는 방법으로 튜브 코팅이 있다. 국내에서 기술도 거의 완성되어 있고 현장 적용도 간단하며 마모와 부식 방지에 효과적인 기술로 판단된다. 전열관 표면에 도포된 hot corrosion resistant coating은 금속표면에 산소(또는 가스상 물질)와 금속물질간의 효과적인 고체상의 확산 경계면을 제공한다. 그러나 용사코팅의 효과는 표면의 평활성, 균질성에 크게 좌우되며 코팅면과 비 코팅면의 경계면에서 마모가 심하게 일어나기도 한다. 따라서 현장 시공기술에 성패가 좌우된다.

2.4 절 RDF연소 특성

1) 연구범위

본 연구는 대체에너지연구사업으로 수행한 실증규모의 연구로 연구 범위와 목표는 다음과 같다.

가. 순환유동층 보일러에서 RDF를 전소 또는 혼소하여 생산되는 증기와 에너지를 현장에서 사용하며 이로부터 RDF의 열이용 가능성을 타진하며 폐기물 에너지 이용기술을 개발함.

나. 1MW급 순환유동층 RDF 연소 발전설비를

국내 독자기술로 설계하고 또한 참여기업의 독자 건설기술로 건설 상용화 기술을 확보하고 기술을 산업 재산권화 하여 국내외에 보급함.

다. 정상운전을 통해 스팀을 생산하여 산업현장에서 이용하게 되는 폐기물의 안전처리와 에너지회수를 실증하고 폐기물의 대체 에너지화 기술의 국산화를 이룬다.

2) 연소설비

가. 용량 : 스팀 7 t/h

나. 연료 : RDF(RPF)

다. 스팀 : 38atm, 450℃

라. 전기 : 1MWe

3) 연소특성

연료는 참여기관인 동명이엔티의 RDF와 원주시에서 생산하는 RDF 2종을 사용하였다.

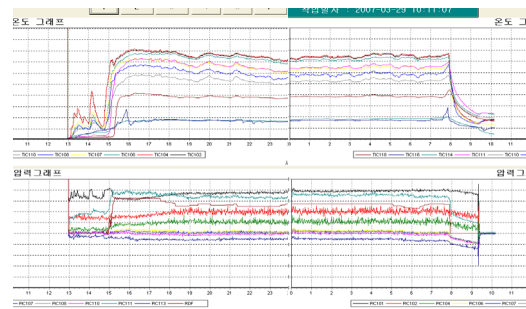


그림 4. 운전그래프(화면캡처)

가. 기동시에는 외부 duct 버너를 통해 예열하였으며 4시간 이내에 정상상태에 도달하였다.

나. 연소는 원활하여 연료의 보급과, 보일러 용수의 한계가 없는 한 연속운전이 가능하였다. 본 연구사업 기간 중에는 운전 여건이 허락하는 한 72시간 연속 운전하였으며 기계적 제한은 없었다.

다. 그러나 시험연소초기에 과립 형태의 (D-RDF)연료는 연료중에 불연성 이물질 또는 미성형 연료가 혼합되어 공급이 원활하지 않았으며 빈번하게 공급라인에 고장을 일으켰다.

라. 과립 형태의 (D-RDF)연료는 연소후 연소로 내부에서 다량의 철물이 검출되었으며 500시간 운전후 약 20kg의 철물 등 조대한 불연물이 잔류하였다.

마. 성형품인 (K-RDF)연료는 공급이 매우 원활하였으며 운전중 공급라인의 이상이 전혀 없었다.

바. 성형품인 (K-RDF)연료는 미량의 철물만 잔류하였으나 연료중 약 20%의 Ash 성분으로 말미암아 다량의 회분 즉 1톤 연소당 약 200kg의 비산회를 발생하였다.

사. 배연중 HCl은 과립 형태의 (D-RDF)연료는 배연중 산소농도 7%에 대하여 100ppm 정도 성형품인 (K-RDF)연료는 400-600ppm을 나타내었다.

나. 배연중 HCl의 제거를 위해서 vortex형 scrubber를 사용하였으며 배연중 HCl 600ppm을 10ppm 미만으로 제거할 수 있었다.

아. 보일러의 열효율은 76~79%를 나타내었다.

차. 본 사업에서 개발된 RDF 전용 순환유동층 열병합 보일러의 성능은 기대치를 만족하였으며 본 설비의 결과를 토대로 상용 10MWe급 보일러의 설계가 가능하다고 판단하였다.

3. 결론

순환유동층에서 다양한 연료를 연소시킬 수 있는 장점을 실증하기 위해

1) 입도범위가 넓고 회분 많은 석탄, 2) 석탄과 건조되지 않은 수분 70~80%의 슬러지, 3) 유연탄과 RDF혼소, 4) RDF전용 연소 등을 순환유동층 보일러에서 연소 시험을 시행하였다. 설비의 규모나 연료 등은 다르나 연소로 온도가 800~950℃인 정상상태의 안정적인 연소 조건을 유지해 준다면 열병합보일러의 성능은 매우 안정적인 것으로 나타나 연료의 유연성을 실증할 수 있었다. 그리고 본 실험조건에서 배연가스중의 오염물질은 대부분 노내에서 배출기준이하로 처리가 가능하였다. 다만 강화되는 배출기준의 준수 및 열악한 연료 조건을 대비하여 각 설비에 맞는 가스정제 설비 및 연료 투입 설비를 갖출 필요가 있다.

후기

본 연구는 산업체의 수탁연구와 지식경제부 대체에너지기술개발사업의 일환으로 수행되었습니다. 연구비지원에 감사드립니다.

References

- [1] 선도원의, "염색공단 슬러지 상용순환유동층 소각기술개발" 한국에너지기술연구원보고서, 부산경남염색공업협동조합, 2003
- [2] 선도원의, "RDF연소 순환유동층 열병합발전 시스템개발" 한국에너지기술연구원 보고서, 산업자원부, 2007