

廢資源活用 流動層 燃燒工程

孫 宰 翼

〈韓國動力資源研究所廢資源研究室長·工博〉

1. 서 론

도시 및 산업폐기물을 비롯한 각종 폐기물은 매몰·소각 등 수용능력의 한계와 환경오염문제로 그 효율적인 처리가 시급한 과제가 되고 있다.

이들 폐기물 중 활용가능한 분야로는 도시 및 산업폐기물로서 고무, 플라스틱, 목재, 종이, 철, 비철금속, 유리 등과 농·임·축산폐기물로서 왕겨, 볏짚, 축분 등 이루 헤아릴 수 없이 많으며 이러한 각종 폐기물을 효율적으로 처리하여 환경을 보존하고 에너지를 회수하여 에너지 절약에 이바지하는 것은 세계적인 에너지 수급의 불안정과 우리나라의 높은 외채부담률을 고려할 때 수입에너지 대체라는 측면에서 크게 고무적인 일이 아닐 수 없다. 이들에 대한 활용방법으로는 자원재생이용법, 연소활용법, 열분해법, 바이오 기술을 이용한 발효법 등 여러가지가 있으며 각각의 특성에 따라 분리적용될 수 있다.

자원재생이용은 폐자원을 분리, 정제, 열처리 등의 재생공정을 통해서 자원화하는 것이며 연소활용은 가연성 폐기물을 일정용기의 연소로내에서 연소시킴으로써 열회수 및 기타 부산물을 활용하는 것이다.

열분해법은 유기물이 혼합되어 있는 각종 폐기물을 높은 열로서 열분해하여 가스, 액체, 고체타르 등을 얻는 것이며 발효법은 주로 농·임·축산계통에 이용되는 것으로 에탄·메탄발효

등을 들 수 있다.

이들 폐자원 활용공정은 이미 선진국에서 오래전부터 연구가 시작되어 지금은 상당히 진보된 기술로 에너지 회수 및 환경오염방지에 널리 이용되고 있는 것이며 국내에서도 자원재생공사를 통한 폐기물의 분리수거 등 일부 실용화되고 있으며 나머지 각 응용분야에 대한 연구도 진행중에 있다.

여기서는 폐기물의 직접 연소활용 공정으로서 공정상에 뚜렷한 장점이 있어 세계적으로 크게 각광을 받고 있는 유동층연소 공정에 대해서 원리 및 응용분야에 대해 살펴보고자 한다.

2. 유동층의 원리 및 응용

〈그림-1〉과 같이 일정용기내에 모래나 석탄 회재 등의 고체입자를 충전하고 하부로부터 공기를 불어넣으면 공기의 미는 힘에 의하여 고체입자는 마치 끓는 액체와 같이 격렬히 유동하게 되는데 이를 유동층이라고 한다.

유동층내에서는 공기와 고체입자간의 거의 완전한 혼합상이 되어 농도, 온도 등의 균일성이 유지되므로 유동층은 촉매분해반응, 석탄의 가스화, 액화 기타 화학공업의 각종 반응조건에 아주 널리 이용되어 왔으며 특히 2차대전 중 부족한 가솔린을 얻기 위한 대규모 유동층 접촉분해(fluidized bed cracking) 장치는 유동층 기술의 초석이 되고 있다.

유동층 연소는 이러한 유동층의 원리를 연소분야에 도입한 것으로 유동층내로 투입된 연료는 열함량이 높은 유동층내에서 최대한 혼합되면서 연소로 하부에서 들어오는 공기와 함께 연소가 일어나기 때문에 이동식 grate 위에 석탄을 받쳐 놓고 연소시키는 스톡아 연소나 미분탄(pulverized coal) 연소방식과는 달리 연료의 性狀과 입도분포 등이 광범위하게 적용되며 이론적으로는 회재함량 85%, 발열량 800~900 kcal/kg의 저질연료까지도 연소가 가능한 것으로 밝혀져 있어서 저질탄이나 폐기물과 같은 발열량이 낮고 착화온도가 높으며 연소속도가 느린 물질의 연소에 우수한 효과가 있다.

특히 연소온도가 낮아(750~900℃) 공해물질인 질소산화물(NO_x)의 생성이 억제되고 용융소결(sintering agglomeration) 등의 고온연소에 부수되는 문제점이 없으며 연소로내에 석회석(CaCO₃), 백운석[(CaMg(CO₃)₂] 등을 첨가

제로 넣어 발생하는 SO₂ 가스를 $CaO + SO_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow CaSO_4 \downarrow$ 의 화학반응에 의해 회재와 함께 침전 및 배출시킴으로써 공해방지측면에서도 탁월한 효과를 지니고 있다.

이처럼 유동층연소의 두드러진 특성에 해당하는 저질연료의 사용가능성으로 인하여 미국을 비롯한 유럽 여러나라에서는 도시 및 산업폐기물과 석탄폐기물 등을 연소시키는 방법으로 유동층 연소기술이 많이 응용되고 있다.

특히 미국에서는 채탄시 생산되었거나 선탄 후 남은 폐기물인 발열량 1,500 kcal/kg 정도의 무연탄 폐기물(anthracite culm)을 연소하여 발생하는 스팀을 인근 제지공장에 보내 활용하고 있으며 벨기에에서는 저열량 폐기석탄(shales)을 roasting에 응용하여 열회수 및 발전용으로 사용하고 있다.

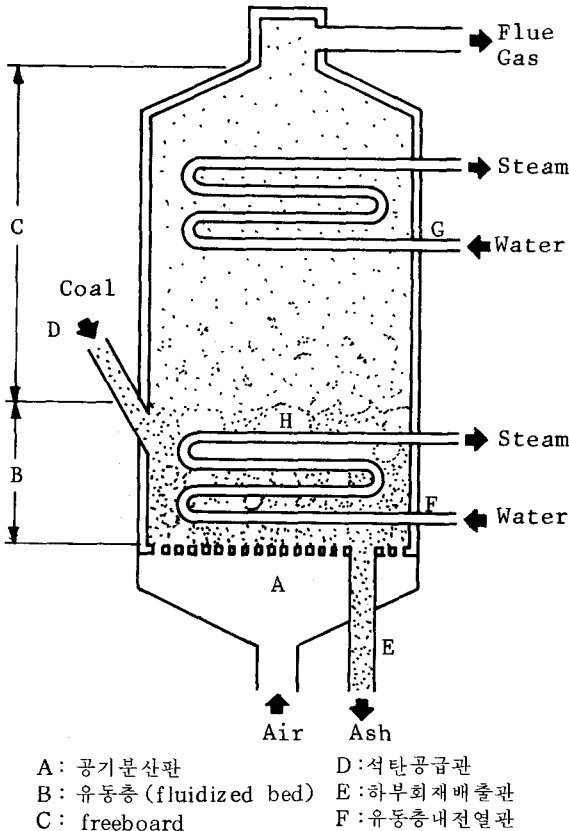
또한 미국 캘리포니아에서는 도시쓰레기를 소각처리하는데 따르는 공정효율저하 및 공해문제들을 해결하기 위해 1일 쓰레기처리량 1,200톤 규모의 폐기물활용 유동층연소 보일러설치를 추진중에 있으며 소각처리시 공해문제가 심각한 자동차타이어를 유동층에서 연소시키는 방안과 축糞을 연소활용하는 방안에 대한 연구도 활발히 진행중에 있다. 이밖에도 coal tailing, coal reject 등을 포함하는 폐기석탄 및 저질탄에 대한 연구가 인도, 호주, 중공, 프랑스, 스웨덴 등지에서 활발히 추진되고 있다.

3. 저질탄 활용 유동층 연소공정

국내에서도 유동층 연소공정을 이용하여 사장되어 있는 막대한 양의 저질탄을 활용하기 위한 연구가 1980년도 초부터 동력자원연구소를 중심으로 수행되어 그동안 커다란 성과를 거두었으며 여기서는 이에 대해 간단히 소개하고자 한다.

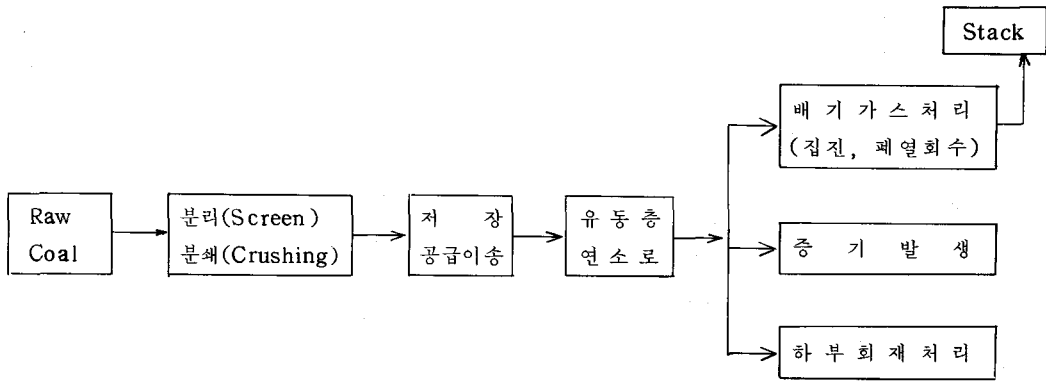
<그림-2>는 저질탄 활용 유동층 연소공정의 개략도를 나타낸 것이며 <그림-3>은 공정상의 상세한 흐름도를 나타낸 것이다.

공정의 흐름을 살펴보면 연소로는 고체층이 조밀한 상태로 유지되는 유동층(fluidized bed)과 비산하는 작은 입자로 차있는 회박층(freeboard)

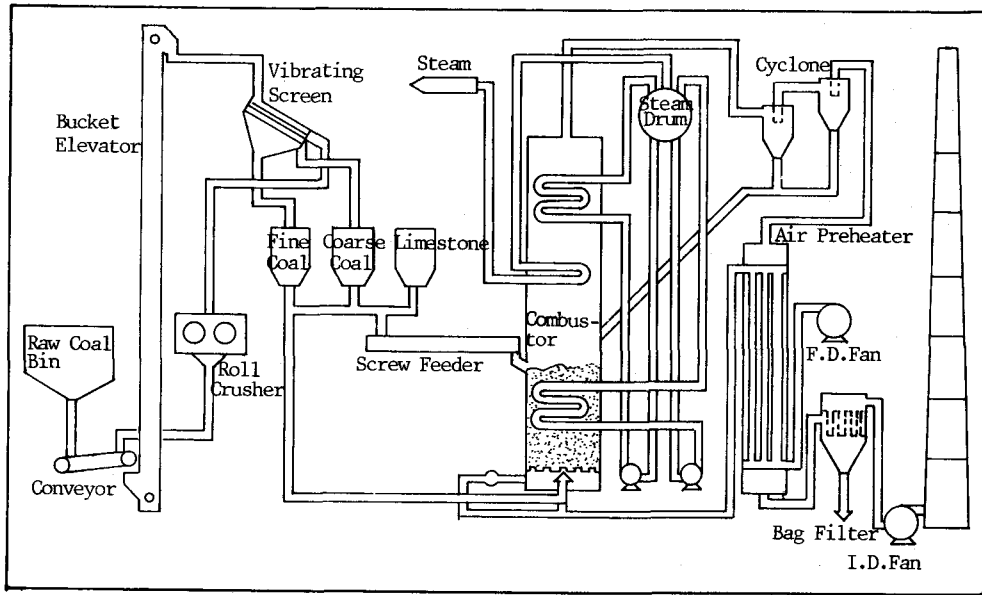


<그림-1> 유동층 연소로

- A: 공기분산판
- B: 유동층(fluidized bed)
- C: freeboard
- D: 석탄공급관
- E: 하부회재배출관
- F: 유동층내전열관



〈그림-2〉 유동층 연소공정의 개략도



〈그림-3〉 저질탄활용 유동층 연소공정 흐름도

으로 구성되며 연료인 저질탄은 screen과 crusher 등을 거치면서 10mm 이하로 분쇄된 후 스크류방식이나 공기수송방식을 통해서 유동층 상부나 하부로 투입되며 하부의 공기분산판을 통해 공급된 연소용 공기와 함께 연소가 일어난다. 유동층 연소로내로 투입된 연료중에서 공기에 의해 비산되는 일부 작은 입자들을 제외하고는 대부분 유동층내에서 장시간 머물면서 지속적으

로 연소가 일어나게 되므로 유동층내 탄소농도는 1% 미만으로 유지되면서 거의 완전연소가 일어난다.

한편 비산유출되는 미연탄소는 사이클론에서 포집하여 재주입(recycle)시킴으로써 미연탄소 손실을 크게 줄이는 것이 가능하다. 발생되는 연소열의 회수는 유동층과 freeboard, convection bank 등지에서 이뤄지며 유동층내의 유동물질

(bed material)과 전열관과의 빈번한 접촉에 의해 열전달이 일어나므로 재래식 보일러의 5~10배 정도 높은 열전달률을 갖게 된다.

연소결과 생성되는 석탄회재는 유동층내에 누적되므로 유동층 높이의 증가현상과 함께 유동층 압력변화로 나타나며 일정한 유동층 압력을 기준으로 주기적으로 유동물질을 배출시킴으로써 유동층 높이를 조절하게 된다.

이와 같은 유동층 연소공정을 다른 연소장치로서는 전혀 활용이 불가능한 발열량 1,800 ~ 2,500 kcal/kg의 국내 저질탄에 적용할 경우 90

% 이상의 높은 연소효율 획득이 가능하고 또한 하루로 배출되는 조쇄한 석탄회재는 98% 이상이 회분으로서 시멘트 원료 첨가제로 사용하거나 회기금속 추출 등으로 아주 유용하게 활용될 수 있을 것으로 밝혀졌다.

4. 활용 방안

이러한 연소공정은 그동안 저질탄의 대표적 산지인 충남지역의 저질무연탄에 대한 연구결과 확립된 저질탄활용 유동층 연소공정으로서 구체적으로는 <表-1>과 같은 다각적인 활용분야를 통해서 석탄산지의 저질탄 연소보일러로 활용되어 자체소요증기 및 전력생산에 이용되거나 산업용 보일러로 활용될 수 있다.

이 공정을 국내 저질무연탄의 연소활용에 적용할 경우 채탄시 부산물로 야적방치되어 있어 심각한 환경공해를 야기하고 있는 폐석(버럭) 등의 저질탄에 대한 효과적인 활용은 물론 수요가 없어 채탄되지 못하고 있는 약 6억톤에 달하는 막대한 양의 저질탄 활용에 획기적인 계기가 될 것이며 아울러 무공해 연소의 실현으로 고질적인 환경오염 방지에도 큰 몫을 할 것으로 기대된다.

또한 이러한 유동층 연소공정은 앞으로 국내의 도시 및 산업폐기물과 농·임·축산폐기물 등의 활용에도 널리 적용될 수 있을 것으로 보인다.

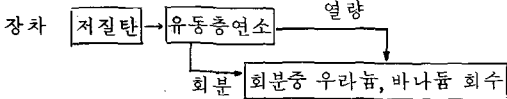
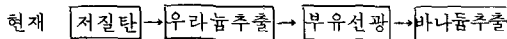
유동층연소로의 활용가능 분야

<表-1>

• 피산 저질탄

열량: 1,600 ~ 2,000 kcal/kg

용도: 유가금속회수(우라늄, 바나듐)

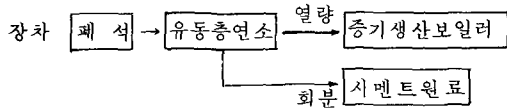
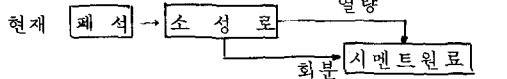


• 폐석(버럭)

열량: 1,000 ~ 3,200 kcal/kg

총생산량: 전체 석탄 생산량의 15 ~ 20% (채탄시의 부산물)

용도: 시멘트 제조원료

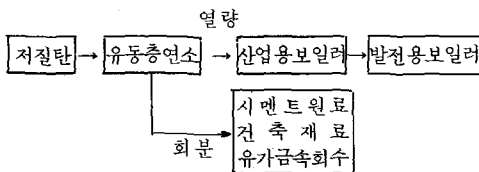


• 가체저질탄

열량: 4,000 kcal/kg 이하

매장량: 전체 석탄 매장량의 40% (원천적 저질탄)

용도: 열량 회수 및 회재이용



5. 결론

지금까지 유동층 연소공정을 이용한 폐자원활용에 대해 살펴보았다. 앞서 언급한 바와 같이 이 공정은 에너지 회수 및 공해방지가 가능한 연소공정인 만큼 각종 폐자원활용에 대한 본 공정의 응용도는 더욱 더 확대되리라 본다.

세계적으로 에너지 자원이 갈수록 고갈되고 있으며, 비교적 에너지 자원이 풍부한 선진국에서도 폐자원 활용에 대한 관심이 고조되고 있는 만큼 이제 우리나라에서도 이 분야에 대한 좀더 많은 연구투자와 함께 실생활에서의 에너지 절약 및 폐자원 활용에 적극적인 노력을 경주할 때 라고 본다. ♣