

# 고형연료사용 순환유동층 연소로에서의 유동사 대체 및 다기능성 첨가제에 관한 연구

## Research on the Replacement of Bed Material and Multifunctional Additives in Circulating Fluidized Bed Combustion Using Solid Fuels

박인수<sup>1</sup> · 남정수<sup>2\*</sup>

Park, In su<sup>1</sup> · Nam, Jeong soo<sup>2\*</sup>

**Abstract :** In this study, it was confirmed whether kaolin can play a role as a bed materials and a role in reducing clinkers by using kaolin with a bed materials for the purpose of removing clinkers such as slagging and fouling generated in circulating fluidized bed combustion furnaces using solid fuel.

**키워드 :** 고온부식, 순환유동층 보일러, 고형연료, 바이오매스, 카오린

**Keywords :** high temperature corrosion, circulating fluidized bed combustion, solid fuel, biomass, kaolin

### 1. 서론

#### 1.1 연구의 목적

바이오매스를 사용하기 위한 연료중 하나인 폐기물 고형연료는 기존 보일러에서 연소시킬 경우, 연료에 함유된 염소, 알칼리 성분으로 인해 과열 증기관에서 고온부식 문제를 일으키거나 클링커가 발생할 수 있다. 이때 연소로의 내부 온도가 회분의 용융점보다 높아지게 될 때 용해(melting)된 상태로 연소로 내부에서 거동하다가 연소로 내부 수관(water pipe line)표면에 부딪칠 때 용융된 회분이 급냉하여 수관표면에 융착하게 되는 현상을 슬래깅(slagging) 현상이 나타나게되거나, 비산재와 연소가스가 열교환기를 통해 냉각될 때 급냉하여 열교환기에 융착하게 되는 현상을 파울링(Fouling)이 나타나게 된다[1].

이러한 슬래깅과 파울링은 Cleaning과 관리비용 증가, 열전달효율 감소, 고온부식 발생 등의 문제를 발생시켜 발전효율을 현저히 감소시켜 발전비용을 크게 증가시키고 거시적으로는 탄소배출저감을 억제시키는 효과를 가져오게 된다. 따라서 본 연구에서는 순환 유동층연소로에서 발생하는 슬래깅과 파울링을 감소시켜 클링커를 저감할수 있는 다기능성 첨가제에 대하여 연구를 진행하였으며 가능성을 부여할수 있는 물질중에 알루미늄실리케이트 광물인 카오린을 적용하였다.

### 2. 실험개요 및 방법

#### 2.1 실험개요

순환유동층보일러의 발전방식은 기체를 고르게 분사하는 분사관으로 구성된 연소실 바닥 위에 적정규격의 유동사(Bed material)을 채워 공기의 유속을 점차적으로 증가시켜 일정유속에 도달하게 되면 입자의 유동 특성이 기포층 (Bubbling bed)에서 난류층 (Turbulent bed)으로 또 고속유동층 (Fast bed)으로 전환하게되며 고속 유동층 하에서는 연소실내에서 질량 입경 분포에 따라 연소실 높이 영역 안에서 상하유동화 운동을 하고 연소실 밖으로 유출된 입자 중 일부는 Cyclone에서 포집되어 하부 Loop seal에 의해 연소실로 재순환 되어 발전되는 시스템이다[2]. 실험은 한국에너지 기술연구원에 보유중인 설비를 이용하여 안정적인 연소운전 가능성, 미세입자 저감 효과 및 저 용점 염의 포집 효과 등을 확인하기 위한 기초실험을 수행하였다.

#### 2.2 실험방법

본 기초연구에서 사용된 고형연료는 Adaro47(인도네시아 아역청탄 ; 열량 4,970kcal/kg, Wood pellet : 국내 제품, 열량 ; 4,967 kcal/kg)의 연료를 사용하였다. 연소 운전 절차는 먼저 연소로와 루프 실에 유동사(모래)를 채운 상태에서 LNG 버너를 점화하여 유동

1) 충남대학교 산업대학원 건축공학과 석사과정

2) 충남대학교 건축공학과 교수, 공학박사, 교신저자(j.nam@cnu.ac.kr)

사 온도가 고형연료의 자가 발화 온도가 가능한 범위까지 예열을 한 다음 유동층 온도가 500°C 까지 온도를 올린 후 고형연료를 투입 하여(LNG 버너는 소화) 순환유동층 연소를 위해 필요한 800°C 까지 온도를 상승시킨다. 안정적인 순환유동층 연소를 위해서는 12시간의 예열시간이 필요하며 연소로에 주입되는 일차 공기 유량은 배기가스 내 산소 농도를 4 vol.% 정도로 유지하는 유량(60-70m<sup>3</sup>/h)을 투입하게 된다. 이 때 riser 유속은 4 m/s 이상이었으며 본 조건에서 유동사 순환이 원활하게 되는 것을 확인하였다. 최종적으로 생성가스는 FGC에서 응축되어 수분이 제거되고 ID fan과 FGR fan에 의해 stack 혹은 mixing tank로 이동되고 이렇게 재순환되는 배기가스는 산소와 함께 섞여 순산소 모드로서 연소로로 주입되어 순 산소 연소가 진행된다. 이상의 실험은 48시간동안 조건을 달리하면서 10회 진행 되었으며, 조건은 유동매체로서 실리카샌드 단독, 실리카샌드+카오린, 카오린 단독 등으로 변화시키면서 진행되었다. 카오린 투입에 따른 미세입자 변화를 측정하기위한 샘플링은 2차 사이클론 하부에서 fly ash를 채취하였고, 또다른 위치는 Bag-filter 후단에서 fly ash를 포집 및 분석하였다. 이와 별도로, 연소 중 일부 bottom ash를 연소로 하부에서 포집하여 분석을 실시하였다.

### 3. 실험결과 및 결론

#### 3.1 실험결과

카오린을 유동매체로 사용하였을 때와 보충하였을 때 및 기존의 실리카 샌드 만을 유동사로 사용하는 경우에 연소로의 연속운전에 미치는 영향을 관찰하기 위하여 전체 운전시간에 대한 온도 및 압력 변화를 측정할 결과 카오린과 연료를 미리 섞어 투입한 경우와 카오린을 별도 호퍼에서 공급한 경우, 그리고 기공을 가진 카오린을 석탄과 석회석을 미리 섞어 투입한 경우에서 단 시간 내 다량의 차가운 카오린이 투입될 때 연소로 내 온도가 조금 떨어졌다가 다시 안정적으로 회복됨을 확인할 수 있다. 또한 소량의 카오린이 지속적으로 공급될 때에도 로내의 온도변화는 거의 없는 것을 확인할 수 있었고, 루프실의 차압이 증가하는 것을 확인할 수 있는데 이는 입자가 원활히 순환하고 있다는 것을 의미한다. 또한 연소로 내 압력 변화는 큰 무리 없이 안정적으로 운전될 수 있음을 확인할 수 있다. 실험결과와 대표성을 위해 동일한 연료(Wood pellet)를 사용하여 카오린의 투입유무에 따른 배기가스 조성들의 평균적인 변화를 확인 하였으며 그 결과 카오린의 투입 유무와 상관없이 고형연료의 순 산소 연소를 통해 90 vol.%의 CO<sub>2</sub> 원천분리가 가능한 것으로 확인되었다. 또한, CO 농도는 모든 실험에서 40 ppm 이하의 수준으로 연소가 잘 진행된 것으로 판단되었으며, NO 농도의 경우에는 카오린이 투입되어도 NO의 증가에는 큰 영향이 없는 것으로 판단된다. 이러한 결과를 종합해 볼 때, 순환유동층 연소 시 유동사 대체제로 카오린이 투입되어도 안정적인 연소 운전에는 문제가 없음을 확인할 수 있었다.

연소로에서 발생하는 저 용점염의 구간별 이동 상황을 관찰하기 위하여 채취된 각 구간별 시료는 XRF를 이용하여 화학성분 변화를 측정하였으며 저용점 염인 칼륨, 나트륨등의 거동은 모두 cyclone, bag filter등의 후단부로 이동함을 나타내고 있다.

#### 3.2 결론

고체연료 순환유동층 연소시 고온부식의 원인이 되는 저용점염의 저감효과를 관찰하기 위하여 수행된 기초실험 연구에서 다음과 같은 결론을 유추 및 확인할 수 있었다. 카오린을 유동사 이외에 첨가하거나 유동사를 대체하여 사용하여도 안정적인 연소운전에는 영향을 주지 않으므로 첨가사용 혹은 유동매체를 교환 사용하여도 문제 없을 것으로 판단되었다. Cyclone, Bag filter 입자들의 화학성분 조성 변화 및 SEM 분석결과 고체연료 연소시 발생하는 저 용점염들은 첨가하는 카오린 입자들에 의하여 연도 최종위치인 bag filter 산물에 농축됨을 확인할 수 있었으며, 이러한 결과로 고체연료 연소시 카오린을 유동사 혹은 첨가제로 사용하는 것은 고온부식을 저감하는 데에 효과가 있음을 확인할 수 있었다.

### 감사의 글

본 논문은 2020년 정부(중소벤처기업부)의 제원으로 중소기업지원 선도연구기관 협력R&D사업 (과제번호: S3010498)의 지원을 받아 수행된 연구임을 밝히며 이에 감사를 드립니다.

### 참고문헌

1. 김범도, 유창국, 이은도, 김영두, 이정우, 송재현. 첨가제를 이용한 보일러 열교환기의 고온부식 방지기술 현황. 청정기술. 2017. p. 227-236.
2. 최상문. 우드펠릿을 사용하는 순환유동층보일러 발전소에 파울링, 슬래깅을 방지하는 카오린 대체재 개발. 군산대학교 석사학위 논문. 2019. p. 5.