

50kW_{th}미분탄 연소 시스템에서 탄종별 슬래깅 및 파울링 특성 연구

강기섭* · 이재욱* · 채태영* · 류창국** · 양원*†

An Experimental Study on Slagging/Fouling Characteristics for Various Coals in a 50kW_{th} Pulverized Coal Combustion System

Kieseop Kang*, Jaewook Lee*, Taeyoung Chae*, Changkook Ryu**, Won Yang*†

ABSTRACT

In Korean coal power plants, rising coal prices have recently led to the rapid utilization of low rank coals such as sub-bituminous coal with low calorific values and low ash fusion temperatures. Using these coals beyond the design range has resulted in important issues including slagging and fouling, which cause negative effects in boiler performances and unstable operations. The purpose of this study is to observe slagging and fouling characteristics resulted from burning various ranks of pulverized coals. We have tested 3 different coals: FLAME(bituminous), KCH(sub-bituminous) and MOOLARBEN(bituminous) coals in the pilot system 50kW_{th} scale. A stainless steel tube with preheated air inside was installed in the downstream in order to simulate water wall. Collected ash on the probe and the slag inside the furnace near burner were analyzed by SEM (scanning electron microscopy) to verify the formation degree, surface features and color changes of the pasty ash particles. Induced coupled plasma and energy dispersive X-ray spectroscopy were also performed to figure out the chemical characteristics of collected samples. As a result, KCH was observed that more slag was developed inside the walls of the furnace and on the probe than the other two kinds of coals, as shown in the calculate slagging and fouling indices as well.

Key Words: Slagging, Fouling, Pulverized coal combustion, Ash fusion temperature, Low rank coal

1. 서론

전력 생산에 원자력과 함께 에너지로서 중요한 역할을 하고 있는 석탄은 전세계적으로 매장량이 풍부하고 지역적으로 편재되어 있지 않으므로 중요한 수급 안정적인 에너지원이다.[1] 최근 중국 및 전세계 경제 악화로 인하여 석탄 수요 증가와 석탄 시장의 여건 변화 등으로 인하여 공급 되는 석탄의 품질이 매우 저급해 지고 있다. 이로 인하여 설계 범위를 벗어나는 저품위탄의 공급이 지속적으로 증가 하고 있다.[2] 최근 국내의 대다수 대용량 발전소에서는 고수분, 고휘발분 함량을 가진 저품위탄 사용이 급격히 늘고 있는 상태이다.[3] 본 논문에서는 고수분탄 1종과 역청탄 2종에 대하여 기초적인 연소 시험과 연소시에 발생하는 슬래깅(Slagging)과 파울링(Fouling)현상

에 대하여 상호 비교 하였다. 시험에 사용된 연소로 용량은 50kW_{th}으로서 시간당 10~11.5kg의 미분탄을 연소하여 진행하였다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1. 실험 장치 및 조건

본 연구에 사용된 실험 장치는 Figure 1과 같다. 미분탄 연소 실험시의 산화제 라인을 별도로 설치하여 미분탄 연소 시스템을 갖추었다. 50kW_{th} 규모의 연소로를 중심으로 배가스의 온도를 조절하기 위한 라인쿨러와 미분탄 연소시 회분 제거를 위한 사이클론과 백필터가 설치되어 있고, 가스 연소 실험시에는 바이패스를 통해 백필터의 부하를 줄일 수 있도록 설계되었다. 미분탄 연소시 미분탄의 원활한 공급을 위해 미분탄 공급 장치가 연소로 상부 버너 위에 설치되어 있고 버너의 설치와 교체가 용이하도록 미분탄 공급 장치는 이동이 가능하도록 하였다.

* 한국생산기술연구원 에너지 시스템 연구 그룹
** 성균관대학교 에너지 공학 연구실
† 연락처, yangwon@kitech.re.kr
TEL : (041)589-8325 FAX : (041)589-8323

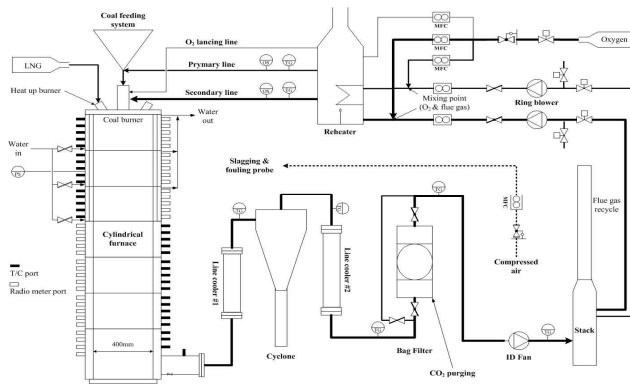


Fig.1. Schematic diagram of experimental facility

연소로 3단에는 노 내 회분의 부착에 의한 슬래깅과 파울링 현상 발생시 열유속 감소 및 온도 변화 측정을 통한 특성 위한 슬래깅, 파울링 프로브가 설치 되어 있다. 노 3번째 단에 파울링 프로브를 설치 하였으며, 표면 온도는 냉각용 공기를 이용하여 약 550℃로 일정하게 유지시켜 실제 발전소의 열교환기 표면 온도를 모사하도록 되어 있다. 슬래그의 경우 실제 보일러에서는 냉각용 물을 이용하여 실제 발전소 보일러 수관의 표면 온도인 약 430℃로 냉각하도록 되어 있지만 본 실험에 사용된 보일러 내부는 내화제 벽 형태로 설계되어 있으며 실 발전소를 모사하지는 못 하였지만 다른 방법으로 실험을 진행 하였다.

2.2. 실험 시료

실험에 사용된 시료는 다음과 같다. 본 논문에서 사용된 석탄은 ASTM D388-84 석탄 분류 등급에 따르면 High volatile bituminous C형 역청탄으로 분류될 수 있는 석탄이다. 탄종별 특징은 인도네시아산 KCH Coal은 고유 수분이 많이 함유하며 상대적으로 다른 탄에 비해 회분량이 적다. 오스트레일리아산 MOOLARBEN Coal은 다른 탄종과 달리 회분 함량이 높다. 다른 탄종과 비교 하여 특징은 없지만 FLAME Coal의 경우 건식 기준 발열량이 가장 높은 것으로 나타났다.

Table 1. Fuel analysis

탄명	회용점(℃)			
	IDT	ST	HT	FT
K	1,260	1,275	1,295	1,350
M	1,520	1,520	1,520	1,520
F	1,350	1,480	1,500	1,520

탄종	회성분(%)								
	Si	Al	F	Ca	Mg	Na	K	Ti	S
K	60.6	12.5	11.8	2.1	0.83	1.3	1.23	0.8	7.98
M	84.4	11.1	0.5	0.17	0.16	0.84	0.29	0.82	0.23
F	59.1	23.9	4.04	1.05	1.23	2.01	0.54	0.82	4.38

*K:KCH(ID),M:MOOLARBEN(AU),F:FLAME(AU)

3. 실험 결과

탄종별 실험 결과는 다음과 같다. 슬래깅의 경우 벽면, 열전대, 벽면에서 낙하한 슬래깅 덩어리를 대상으로 분석을 실시 하여 정량적인 성분의 결과를 얻었다. 파울링의 경우 노내에 삽입 되어있는 샘플링 프로브에 쌓인 회분을 채집하여 정량적인 성분의 분석 결과를 얻었다. Figure 2는 각 채집별 위치에 슬래그를 촬영한 사진이다.

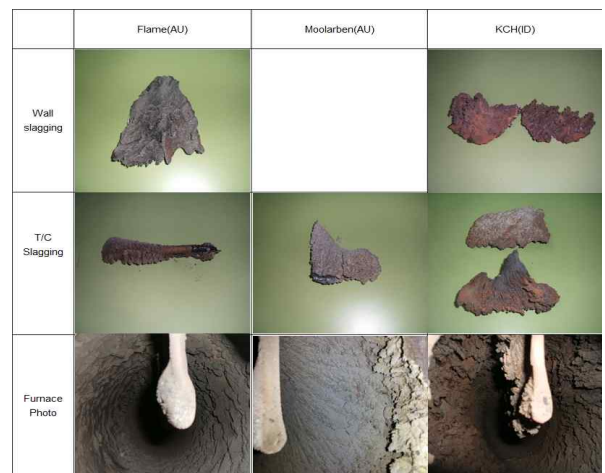


Figure 2. Collected slags

슬래그의 경우 육안상으로 확인이 가능한 부분은 KCH(ID) Coal의 경우 다른 탄종보다 철분 함유량이 높기에 연소 후 슬래그의 색상을 보면 빨간 색깔을 띠는 것을 확인할 수 있다. 실험시에 슬래깅 및 파울링 현상을 파악하기 위해 샘플링 프로브 삽입후 각 탄종별 4시간씩 동일하게 측정 하였다.

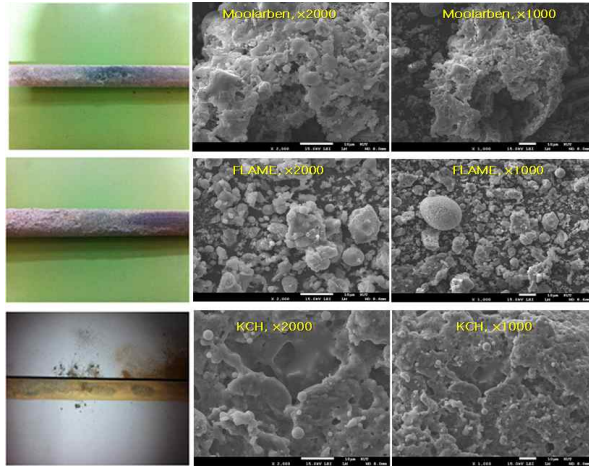


Figure 3. Ash collected from sampling probes

ICP 분석을 통한 결과 연소후 회분에서는 Al, Si, Fe 성분 70~80%를 차지하고 있다. 연소전 FLAME Coal의 Fe 함량은 8배 증가하였다. 연소전 회분의 경우 KCH Coal이 다른 탄종에 비하여 slagging and fouling 경향성이 높게 나타났으며, 그에 반해 MOOLARBEN(AU) Coal이 경향성이 가장 적게 나타났다. 연소후에 채집한 회분의 경우는 연소전의 회분과는 달리 KCH(ID) Coal이 가장 높은 경향성을 나타내었으며, 연소전 회분과 동일하게 MOOLARBEN Coal이 경향성이 가장 적게 나타났다. 슬래깅 특성이나 파울링 특성을 실측 실험을 통해 정량화 하는 실험은 매우 어렵다. 본 실험에서는 노 벽, 열전대, Ash hopper로 낙하하는 슬래그와 노 3단에 설치한 샘플링 프로브를 통해서 slagging and fouling 발생 현상을 보고자 하였다.[3]

4. 결론 및 향후 연구 방향

본 실험은 미분탄 연소시 발생하는 연소 장애 현상(slagging and fouling)을 파악하기 위하여 수행하였다. 하지만 실험의 재현성 및 실험 결과의 정량화에도 많은 어려움이 있어 파일럿 규모의 시험로에서의 실험 결과를 직접적으로 대용량 발전소에 적용하는 데에는 한계가 있다. 현재 세계 경제의 악화로 인하여 석탄 수요 증가와 석탄 시장의 여건 변화 등으로 인하여 공급 되는 석탄의 품질이 매우 저급해 지고 있다.

이로 인해 저품위탄의 수급이 증가하고 있으며 본 실험에서도 저품위탄 연소시에 연소 장애 현상(slagging and fouling)을 파악하기 위하여 수행 하였다. 실험탄의 경우 저열량 아역청탄 1종과 양호 역청탄 2종을 선정 하였으며 연소 전후의 회 성분 분석 자료를 통한 slagging and fouling indices 계산을 통해 정확한 발생 판단에 대한 지표를 제시 하기 보다는 발생 경향성을 확인 하는데 목표를 삼고 실험을 진행 하였다.

5.참고 문헌

- [1] 최병철, 김형택, 천원기, “ 석탄회분의 조성 변화에 따른 슬래깅 특성에 관한 연구”, 한국에너지공학회(1999), 제 8권, 제3호
- [2] 김준근, “다양한 탄종 연소에 따른 석탄화력 보일러 연소장애 및 연소현안에 대한 대처방안 연”, 제 33회 KOSCO SYMPOSIUM 논문집 (2006년도 추계)
- [3] 이현동, 김재관, “ 인도네시아산 발전용 수입 석탄 2종의 연소특성 비교 평가”, 에너지공학, 제 19권 제 2호(2010)
- [4] Raask E. “ Mineral impurities in coal combustion behaviour problems and remedial measures”, NewYork: Hemisphere Publishing, 1985
- [5] Couch GR, “Understanding slagging and fouling during the combustion”, IEACR/72, IEA Coal Research, London, UK, 1994.
- [6] Benson SA, Jones ML, Harb JN, “Ash formation and deposition”, Smoot D, editor. Fundamentals of coal combustion for clean and efficient use, Amsterdam: Elsevier, 1993. pp. 293-373, Chapter 4.
- [7] Wall TF, “Mineral matter transformations and ash deposition in pulverised coal combustion”, Proceedings of 24th Symposium (International) on Combustion. The Combustion Institute, Pittsburgh, PA, 1992. pp.111-26.
- [8] Durie RA, “The science of Victorian brown coals”, London: Butterworth Heinemann, 1991.
- [9] Reid WT, “External corrosion and deposits-boilers and gas turbines”, New York: Elsevier, 1971
- [10] 김남일, 이재현, “보일러와 버너 설계와 이론”, pp 494 - 497
- [11] I. Gulyurtlu, P. Teixeira, H. L. Lopes, N. Lapa, M. Freire, M. Galhetas, I. Cabrita, “Prediction of slagging and fouling tendency of biomass co-firing in fluidized bed combustion”, INETI/DEECA, Estrada do pago do lumiar, 22, Ed J, 1649-038 Lisboa, Portugal