

인도네시아산 발전용 수입 석탄 2종의 연소특성 비교 평가

이현동[†] · 김재관

한국전력공사 전력연구원

(2010년 4월 20일 접수, 2010년 6월 20일 수정, 2010년 6월 20일 채택)

Combustion characteristics of two imported Indonesia coals as a pulverized fuel of thermal power plants

Hyun-Dong Lee[†] and Jae-Kwan Kim

Power Generation Lab. KEPCO Research Institute

(Received 20 April 2010, Revised 20 June 2010, Accepted 20 June 2010)

요 약

국내에 수입되어 사용되고 있는 발전용 석탄 2종에 대하여 기초적인 열중량분석기를 이용한 열특성 분석실험과 대용량 시험연소로를 이용한 연소시험을 수행하였다. 실험결과 고수분탄이 비록 착화 온도가 낮고 및 연소 구간이 짧아 초기 연소특성은 좋지만 비교탄에 비해 연소완료까지 빨리 종결되지 못해 결과적으로는 연소 효율이 좋지 않았으며, 고수분탄의 활성화에너지는 고수분탄이 79 kJ/mol로서 비교탄의 53 kJ/mol에 비해 높은 특성을 보였다. 또한 시험연소로 시험과정에서 고수분탄의 화염 내 검은 색의 석탄분사체(Coal Jet) 형태가 비교탄에 비해 비교적 뚜렷이 관찰되어 연소속도가 다소 떨어지는 상호 연관성이 잘 설명되었고 연소 후 미연분 발생량에서도 고수분탄이 다소 높게 나타났다. 그러나 고수분탄의 경우 낮은 유황분 함량으로 인해 연소 시 황산화물 배출량이 적어 고유황 함량의 석탄과의 혼합연소 시 유용하게 활용 될 수 있을 것으로 예상되었으며, 또한 회성분 분석결과 Na₂O와 K₂O 등의 알카리비금속화합물 함량이 기존의 역청탄에 비해 매우 적고 회분자체의 함량도 매우 낮아 회분의 용착 정도가 높지 않게 나타났다.

주요어 : 고수분탄, 석탄화력, 회용점, 연소반응성

Abstract— Combustion reactivity and thermal behavior of two imported coals used as a pulverized fuel of commercially thermal power plant were investigated by thermogravimetric analysis (TGA) and large scale test furnace of 200 kg/hr. TGA results showed that combustion efficiency of high moisture coal has lower than reference coal due to the slow combustion completion rate although it has the low ignition temperature, and activation energies of high moisture coal with 79 kJ/mol for overall combustion was higher than reference coal of 53 kJ/mol. Test furnace results ascertained that flame of black band of high moisture coal during the combustion in boiler broke out compared to reference coal and then it becomes to unburned carbon due to the less reactivity and combustion rate. But, Blending combustion of high moisture coal with design coal of high sulfur are available because sulfur content of high moisture coal was too low to generate the low SO_x content in flue gas from boiler during the combustion. The ash analysis results show that it was not expected to be associated with slagging and fouling in pulverized coal fired systems due to the low alkali metal content of Na₂O and K₂O compared to bituminous coal.

Key words : High moisture coal, coal fired thermal power plant, ash fusion, combustion reactivity

[†]To whom corresponding should be addressed.
Power Generation Lab. KEPCO Research Institute, Seoul
135-791, Korea
Tel : 042-865-5661; E-mail : hdlee@kepri.re.kr

1. 서 론

일반적으로 저등급의 고수분 석탄은 아역청탄이나 갈탄과 같은 탄들이 대상이 된다. 고수분탄은 보일러 내 연소시 수분에 의한 증발잠열 손실이 크고 저탄 및 미분과정에서 자연발화의 가능성이 높은 단점을 가지고 있다. 따라서 기존의 석탄화력 발전소에서는 이러한 고수분탄을 발전용 연료로서 선호하지 않는 상황이다. 그러나 불행히도 최근의 빠른 전력수요 증가에 따른 에너지자원 가격의 폭등은 발전연료로서 양질의 연료만을 선택적으로 사용할 수 있는 환경을 제공하지 않고 있다. 따라서 기존에 사용하지 않았던 저급의 석탄을 이제는 현실적인 연료로서 받아들여 효율적으로 사용할 수 있는 방안을 마련하지 않으면 안 되는 상황이 되었다. 따라서 최근에는 국내의 대다수 대용량 발전소에서는 고수분, 고휘발분 함량을 가진 저급의 석탄사용이 급격히 늘고 있는 상태로서 본 논문에서는 이러한 저급탄 중 대표적인 인도네시아산 저급석탄 1종에 대하여 기존에 비교적 안정적인 연소특성을 보여 발전연료로서 널리 활용되어온 역청탄 1종과 연소특성을 상호 비교함으로써 고수분 석탄의 발전연료로서 가능성을 평가 하였다. 이러한 시험 결과는 고수분 석탄의 연소특성에 대한 실험실적인 미시적 접근보다는 실 발전소 현장에서 필요로 하는 실제적인 적용성 평가 및 해석사례로서 의미를 가질 수 있다.

석탄은 일반적으로 여러 종의 광물질을 다양한 형태로 함유하고 있다. 이러한 광물질의 특성에 따라 석탄연소 분야에서는 설비 운전 및 유지보수 차원에서 여러 가지 문제가 발생할 수 있다. 특히 운전상의 문제는 주로 석탄의 무기화합물로부터 야기될 수 있는데, 석탄의 무기물 함량의 크기와 구성 특징에 따라 설비에 미치는 영향이 크게 좌우된다. 석탄 내 무기물의 거동은 그 자체의 물리화학적 특성과 석탄에 존재하는 형태에 따라 영향을 받는다 [1]. 고등급탄 광물질의 경우 주로 점토, 석영, 탄산염, 황화철 및 각종 염성분으로 구성되어 있다. 그러나 저등급탄의 경우 광물질 구성성분 중 Na, Cl 및 S와 같은 무기물 함량이 상대적으로 높게 나타난다. 연소과정을 통해 이러한 물질은 비회(fly ash) 형태로 연소가스에 의해 이동되다 보일러 내부의 전열면에 부착되게 된다. 이러한 부착회분이 고온에서 고점도물 형태로 존재하게 되면 이를 슬래그(slag)라고 부르게 되고 부착물이 액

상으로 표면에 존재하며 부착을 더욱 촉진하게 된다. 또한 대류전열면에서 응축된 형태의 건조한 부착물이 전열면에 부착되는 현상을 화올링(fouling)이라고 부르게 된다 [2-4]. 일반적으로 무기물의 설비 손상은 고등급탄에 비해 저등급탄을 사용할 때 더욱 증가하는 경향을 보인다. 특별히 저등급탄의 경우 연소실 내에서 화올링 유발에 주요 원인이 되는 Na 성분의 함량이 높은 특징을 보인다 [1,3,5-6]. 기존의 연구를 통해 이러한 화올링은 특정한 화학적 첨가물 투입을 통해 조절될 수 있는 것으로 알려지고 있다 [7-11].

본 논문에서는 고수분탄 1종과 전형적인 역청탄 1종의 연소특성을 기초적인 연소시험과 대용량의 시험연소로를 이용한 시험결과를 통해 상호 비교하였다. 시험에 사용된 대용량 연소로는 시간당 200 kg의 역청탄을 연소할 수 있는 규모이며, 실제 국내 대규모 500 MW 급 표준화력발전소 보일러를 약 1/1,000로 축소하여 제작한 설비로 열역학적 및 유체역학적 설계가 실 설비를 최대한 모사할 수 있도록 고려되었다.

2. 실험방법

2-1. 시료

본 논문에서 언급되고 있는 고수분석탄은 ASTM 석탄 분류등급에 따르면 고휘발분 C형 역청탄으로 분류될 수 있는 석탄으로, 비교 비교탄에 비해 수분과 휘발분 함량이 매우 높은 석탄이며, 일반적인 인도네시아산 고수분 석탄과 비교해도 수분함량이 높은 편에 속한다. 석탄의 높은 수분함량은 석탄의 발전소 내 이송 과정에서의 막힘과 미분기 내 미분과정에서의 발화 및 야적시 저탄장에서의 자연발화 유발 등 여러 가지 이용측면에서 문제를 유발하게 된다. 또한 본 시험에 사용된 고수분탄의 경우 총수분 함량이 30%를 초과하는 특성을 보여 연소 시 수분에 의한 증발잠열 손실이 다른 석탄에 비해 높은 것으로 파악된다. 이론적인 면에서 고수분탄의 경우 비교탄에 비해 총 수분함량이 약 2배에 달하는 것으로 나타나며, 이는 단순히 열량측면에서만 볼 경우 비교탄에 비해 보일러 동일 출력을 위해서 약 26%의 추가적인 공급량이 필요함을 의미한다. 그러나 고수분탄의 경우 황분의 함량이 매우 낮아 황산화물 배출량 저감을 위한 고유황분 함량의 석탄과의 혼합탄으로서 활용시 유용할 것으로 사료된다. 한편 회성분 분석결과 고수분탄의 경우 Al_2O_3 와 SiO_2 의 함량이 상대적으로 낮게 나

Table 1. Proximate and ultimate analysis of samples.

Coal	Total Moisture	Heat Value (DB, kcal/kg)	Proximate Analysis					Ultimate Analysis					
			Inherent Moisture	Volatile matter	F.C	Ash	C	H	O	N	S	Ash	
High moist bituminous	36.12	6,460	22.63	39.58	34.67	3.12	67.01	5.20	23.13	0.80	0.12	3.74	
Reference	18.57	6,430	15.74	35.42	41.06	7.78	67.03	5.25	16.54	1.53	0.43	9.22	
Coal	Ash Analysis									Ash Fusion Temperature (°C, Oxidation Ambient)			
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	IDT	ST	HT	FT
High moist bituminous	22.91	10.12	30.27	21.06	7.01	5.86	0.57	0.69	0.46	1,130	1,274	1,374	1,497
Reference	22.12	50.93	8.85	3.54	1.52	ND	1.19	2.49	1.45	1,135	1,270	1,370	1,495

타났다. 그러나 Fe₂O₃와 SO₃의 함량은 높게 나타나, 고수분탄의 FeS 함량이 높을 것으로 예상되었다. 일반적으로 인도네시아산 아역정탄 계열은 역정탄에 비해 Na이나 K과 같은 알칼리비금속 원소의 함량이 높아 낮은 회분의 용점을 보이는 경향이 있다. 본 실험에 사용된 고수분탄의 회분도 크지는 않지만 비교용 역정탄에 비해서는 회분의 용점이 낮은 특성을 보이고 있다.

2.2. 시험장치 및 조건

본 실험에 사용된 시험연소로는 미분기와 연소용 공기 공급설비, 노 내 슬래깅 화올링 측정시스템, 연소가스 냉각시스템 및 연소가스 연속 모니터링 시스템 등을 갖추고 있다. 또한 연소로에 설치되어 있는 다양한 포트(port)를 통해 각종 노내 측정과 시료채취가 가능하도록 되어 있다. 연소시험 시 발생하는 배가스 처리 설비로서는 전기집진기와 백 필터 및 습식 스크러버 등이 설치되어 있다. 연소로는 버너 배치형태 변화를 통해서 다양한 방식으로 연소가 가능하도록 되어 있어 국내에 운용되고 있는 다양한 연소 방식의 발전용 보일러 시스템을 모사할 수 있도록 설계되어졌다. 본 실험에서는 네 개의 버너가 연소로 내부 모서리부분에 설치되어 있는 탄절설 연소방식(tangentially firing mode)으로 연소시험이 진행되었다. 연소로의 설계 연료 투입 용량은 200 kg/hr이며 이때 노 출구의 가스온도는 1,149°C로 설계되었고 이러한 노 출구 온도설계 조건은 실제 운전되고 있는 국내의 대용량 발전소 보일러 운전조건과 매우 유사한 조건이다. 연소로 본체의 개략도는 Fig. 1과 같다. 노 내 회분의

부착에 의한 슬래깅과 화올링 현상 발생시 열유속 감소 및 온도 변화 측정을 통한 특성 평가를 위한 슬래깅 패널과 화올링 프루브가 노 내에 설치 운용되고 있다. 화올링 프루브는 노 상부에서 600 mm 내부로 삽입되어 설치되어 있으며, 슬래그 패널은 Fig. 1의 B2와 B5 지점 부근에 노 벽면과 일치하도록 설치되어 있다. 화올링 프루브의 표면 온도는 냉각용 공기를 이용하여 약 540°C로 일정하게 제어되어 실 발전소의 과열기(superheater) 표면온도를 모사하도록 되어 있으며, 슬래그 패널의 경우는 냉각용 물을 이용하여 실 발전소 보일러 수관의 표면 온도인 약 430°C로 냉각하도록 되어 있다. 본 실험에서는 슬래그 패널 및 화올링 프루브 표면의 회분 부착형상을 고온의 노 내부에서 직접 촬영하여 비교하는 방식으로 각각의 특성을 평가하였다. 본 대용량 연소로 실험에서는 시간당 200 kg의 석탄을 공급하며 실험을 수행하였고 약 3.0%의 배가스 중 산소농도를 유지하였다. 공급된 미분탄의 미분도는 실제 발전소 운영 조건인 석탄입자 75 μm 이하가 75% 이상을 유지하도록 미분하여 실험에 사용하였으며, 대용량 연소로 실험과 별도로 Cahn사의 2100 모델의 소형 열중량분석기를 이용하여 시험탄의 열적 특성을 분석하였다. 열중량 분석기의 퍼지 가스는 헬륨을 사용하였으며, 퍼지 가스의 유량은 50~70 cm³/min 이었고 열중량분석기의 승온속도는 10°C/min, 분석시료의 무게는 10~20 mg이었다. 반응온도는 900°C 까지 승온 하였으며 실험과정에서의 무게 감소는 다음과 같은 수식을 이용하여 계산하였다.

$$\text{Weight loss(\%)} = [(mi-ma)/mi] \times 100$$

Table 2. Test conditions of combustion furnaces.

Coal	Feeding Rate(kg/hr)	Excess O ₂ in Flue Gas	Fineness (wt% of 75 μm under size)
High moist bituminous	200	3.0	74
Reference	246	3.0	77

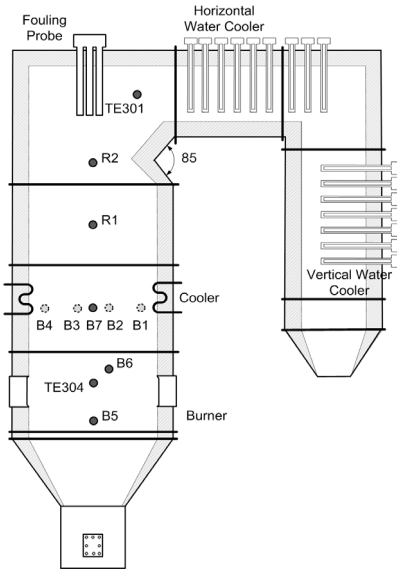


Fig. 1. Diagram of test furnace of 200 kg/hr.

여기서 m_i 는 시료의 초기무게(mg)이며, m_a 는 시료의 연소반응 후 무게(mg)이다.

3. 실험결과

연소반응 측면에서 활성화에너지는 반응물이 점화하여 연소되는데 필요한 에너지라 할 수 있다. 일반적으로 열중량분석기를 이용한 물질의 활성화에너지 측정은 탈휘발(devolatilization) 반응과 고정탄소의 연소과정인 촉(char) 연소 반응 두 단계로 나누어 고려해 볼 수 있다. 본 실험에서는 촉 반응과 그 활성화에너지만을 Coats and Redfern의 반응모델을 적용하여 도출하였다. 이는 대부분의 연소반응 특성이 촉 반응에 의해서 지배적으로 영향을 받기 때문이다. 특히 대용량 발전소 보일러에서 발생하는 미연탄소량은 석탄의 촉 연소반응 시간과 특성 등에 많은 영향을 받는다. 실험결과 고수분탄의 경우 280~300°C 좁은 영역에서 촉의 급격한 연소가 진행되는 결과를 보여 역청탄의 250~350°C 연소 영역에 비해 상대적으로 매우 좁은 연소 영역을 보여주었다(Fig. 2, 3). 그러나 300°C 이

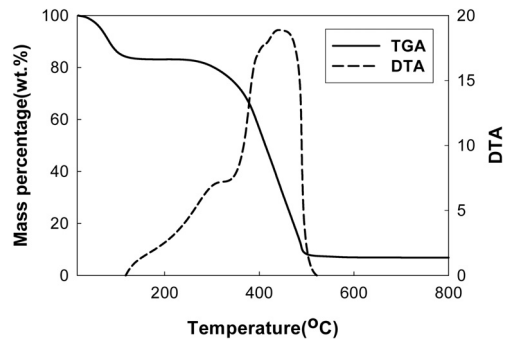


Fig. 2. TGA result of reference coal.

후에서도 지속적으로 일부 연소가 진행되는 현상을 보여 역청탄에 비해 난연성의 촉 성분이 상당량 존재하는 것으로 파악되며, 이에 따라 연소성분의 분율에 따라 가중 평균치로 나타나는 활성화에너지가 비교 시험탄에 비해 높게 나타났다. 이는 고수분탄이 비록 최대 연소 구간은 짧지만 비교탄에 비해 최종 연소 완료가 현격히 늦게 종결되어 결과적으로는 전체적인 연소효율이 좋지 않음을 의미하게 되며, 실제 산업용 보일러 내 연소 시 미연탄소 발생량이 증가할 수 있음을 예상할 수 있게 한다. Table 3과 같이 고수분탄의 활성화에너지는 79 kJ/mol로서 비교탄의 53 kJ/mol보다 증발잠열에 의한 열손실에 의해 매우 높게 나타났다. 따라서 Table 4와 같이 시험연소로 시험결과 미연탄소 함량이 비교탄에 비해 높게 나타났다.

고수분탄의 경우 황분 함량이 비교탄에 비해 매우 낮은 특성으로 인해 연소시험 시 황산화물 배출량이 비교탄에 비해 매우 낮은 특성을 보였다. 질소산화물의 경우는 연료자체가 함유하고 있는 질소분이 산화되어 발생하는 fuel NO_x와 연소용 공기 중의 질소분이 고온의 노 내에서 산화되어 발생하는 thermal NO_x 양에 의해 결정되는 특성을 가지고 있다. 본 실험결과 고수분탄의 경우 연료자체의 질소 함량이 낮고 노 내부의 온도 역시 비교탄에 비해 낮았기 때문에 질소산화물 발생량이 낮은 것으로 나타났다.

발전용 보일러 내부의 화염형상은 연료의 휘발분 함량과 밀접한 연관성을 가지고 있으며 노 내부의 휘

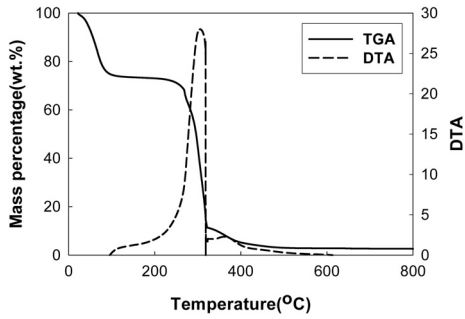


Fig. 3. TGA result of high moisture coal.



Fig. 4. Flame of high moisture coal.



Fig. 5. Flame of reference coal.



Fig. 6. Flame of bituminous coal.

Table 3. Kinetic parameters of combustion of samples.

Coal	Kinetic Parameter		
	ActivationEnergy(kJ/mol)	Ko(1/s)	R
High moist bituminous	79	278.538	0.980
Reference	53	681.235	0.997

Table 4. Test results of samples at test furnace of 200 kg/hr.

Coal	UC(wt%)	Emission(ppm, O ₂ 6% base)	
		SOx	NOx
High moist bituminous	2.25	75	147
Reference	1.79	233	182

도는 연료 중 회분의 함량과 일정부분 관련이 있다. 실험을 통해 탄종별 화염형태를 비교해 보면 비교탄에 비해 상대적으로 활성화 에너지가 높은 고수분탄의 경우 Fig. 4와 같이 버너와 화염 사이에 석탄입자가 분사되고 있는 형태가 coal jet 형태로 비교적 뚜렷이 관찰되었다. 이는 열중량분석 결과에서 나타난 탄종간 활성화에너지 차이에 따라 고수분탄의 경우 휘발분 함량은 비록 높아 초기에 휘발분의 연소가 신속히 일어나지만 휘도가 높아 밝은 형태의 화염을 구

성하는 좌 연소시점은 상대적으로 늦게 형성되는 것으로 해석된다. 그러나 실험에 사용된 두 탄종의 경우 회분의 함량이 10~15% 범위에 있는 비교탄에 비해 낮아 회분 입자의 빛 산란효과가 적은 이유로 Fig. 5, 6에 비해서 비교적 뚜렷이 구분되는 노 내부 화염 형태를 보여주고 있다.

고수분탄의 회분은 일반적인 역청탄에 비해 상대적으로 낮은 실리카 및 알루미나 화합물 함량을 보이고 있다. 이는 심지어 갈탄에 비해서도 상대적으로

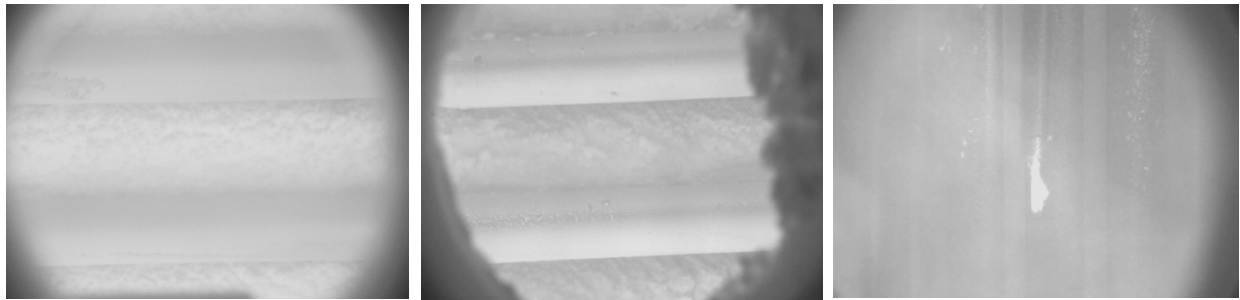


Fig. 7. Slagging of high moisture coal (after combustion of 16 hr). **Fig. 8.** Slagging of reference coal(after combustion of 16 hr). **Fig. 9.** Fouling of high moisture coal(after combustion of 16 hr).

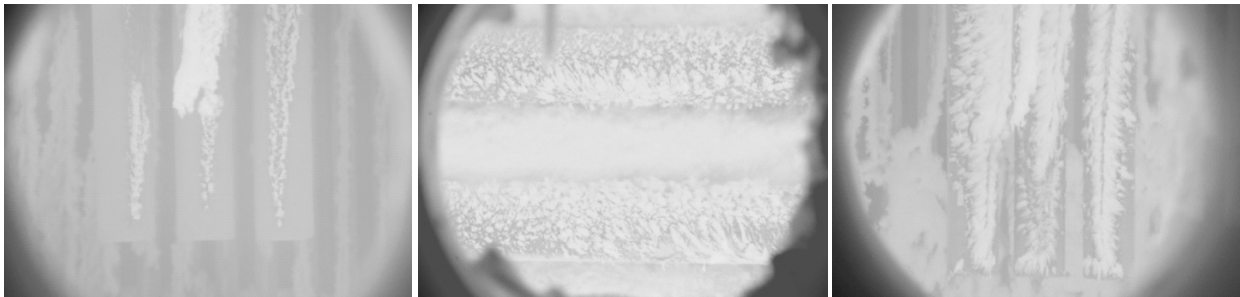


Fig. 10. Fouling of reference coal(after combustion of 16 hr). **Fig. 11.** Slagging of bituminous coal(after combustion of 16 hr). **Fig. 12.** Fouling of bituminous coal(after combustion of 16 hr).

낮은 수치이다. 따라서 고수분탄의 경우 상대적으로 낮은 알칼리화합물 함량뿐 아니라 회분 자체의 절대적인 함량도 낮아 슬래킹이나 화올링 문제를 유발할 가능성이 상대적으로 낮을 것으로 예상된다. 특히 이론적인 슬래킹 예측의 지수중 하나로 사용되는 dolomite 함량의 경우 고수분탄은 47%에 달해 30% 수준을 보이는 비교탄에 비해 높게 나타난다. 일반적으로 dolomite 함량이 높으면 회분의 용융점도 증가하는 것으로 알려져 있으며, 갈탄의 경우 dolomite 함량은 40~90% 범위를 나타낸다 [12].

$$Dolomite\%(D_p) = \frac{CaO + MgO}{Fe_2O_3 + CaO + MgO + Na_2O + K_2O} \times 100$$

또한 슬래킹 예측 지수 중 하나인 Fusion slagging index(Rfs)의 경우, 고수분탄은 1,179°C, 비교탄은 1,182°C를 나타내 유사한 결과를 보여 회용착특성에서는 큰 차이를 나타내지 않을 것으로 예측되었다 [13].

$$R_{FS} = \frac{HT_{max} + 4 \times IT_{min}}{5} (\text{°C or °F})$$

슬래킹 특성이나 화올링 특성을 실측 실험을 통해 정량화 하는 실험은 매우 어려운 실험이다. 이는 대용량 보일러 내의 연소조건이 화학적 반응측면에서나 유체역학적 측면에서 균일한 상태를 지속적으로 유지하기 어려운 매우 불균일한 상태이기 때문이다. 따라서 슬래킹이나 화올링 측정실험의 결과는 정량적인 결과를 얻기보다는 장기적인 실험을 통해 탄종별 경향성을 파악하는 것이 중요하다. 본 실험에서는 실험 과정을 통해 직접적으로 노 내부에 설치되어 있는 슬래그 패널과 화올링 프루브에 부착되는 회분의 용착 정도를 가시적으로 관찰하고 사진으로 촬영하여 동일 시점에서의 그 부착 정도를 상호 비교하는 방식으로 실험을 진행하였다. 실험 시작 후 동일 시간 경과 후 각각의 특성을 사진으로 비교한 결과 Fig. 7~10에서와 같이 두 시험탄의 경우 뚜렷한 부착상태의 차이점이 나타나지 않았다. 이러한 차이점은 Fig. 11~12에서와 같이 일반적인 역청탄 시험사례와 비교해 보면 그 차이점이 분명히 구분된다.

4. 결 론

미분탄 연소는 기체나 액체 연료 연소에 비해 반응도가 낮고 연소반응기 내 물리적 제한으로 인해 상대적으로 불균일한 반응특성을 보여주게 된다. 따라서 실험의 재현성이 비교적 떨어지게 되고 실험결과와 정량화에도 많은 어려움이 있어 이러한 파일럿 규모의 시험로에서의 실험결과를 직접적으로 대용량 발전소에 적용하는 데에는 한계가 있다. 그러나 이런 시험결과를 정략적으로 현장에 직접적으로 적용하기 어려워도 현장에서 필요한 연료의 연소특성에 대한 경향성을 파악할 수 있는 자료로 활용할 수는 있어 새로운 연료를 개발하여 사용하기 위한 사전 평가 자료로의 활용은 의미가 있다. 고수분함량의 역청탄과 비교탄 각 1종에 대하여 기초적인 석탄의 열적특성을 분석할 수 있는 열중량분석기와 시간당 200kg의 대용량 연소를 이용하여 실제 발전소 현장에서 주로 관심을 갖는 분야에 대한 분석과 실험을 수행하였다. 분석결과 고수분탄이 비록 착화 온도가 낮고 및 연소 구간 역시 짧아 초기 연소특성은 좋지만 비교탄에 비해 최종 연소 완료가 빨리 종결되지 못해 결과적으로는 연소효율이 좋지 않았으며, 이에 따라 활성화에너지가 79 kJ/mol로서 비교탄의 53 kJ/mol에 비해 높은 특성을 보였다. 그러나 고수분탄의 경우 낮은 유황분 함량으로 인해 연소 시 황산화물 배출량이 적어 고유황 함량의 석탄과의 혼합연소 시 유용하게 활용될 수 있을 것으로 예상된다. 또한 회성분 분석결과 Na_2O 와 K_2O 등의 알칼리비금속화합물 함량이 기존의 역청탄에 비해 매우 적고 회분자체의 함량도 매우 낮아 회분의 용착 정도가 높지 않을 것으로 예상되었고 시험연소로 시험결과에서도 비교탄에 비해 높지 않은 결과를 나타냈다. 고수분탄의 경우 비교탄에 비해 최악의 활성화에너지가 높게 나타나고 연소효율이 떨어지는 결과를 나타낸 바와 같이 시험연소로 시험에서도 화염 내 검은 색의 석탄분사체(Coal Jet) 형태가 비교적 뚜렷이 관찰되어 탄의 전체적인 탄의 연소 지연 현상이 관찰되었고, 연소 후 미연분 발생량도 고수분탄이 다소 높게 나타났다. 이러한 일련의 실험결과 고수분탄은 높은 수분 및 휘발분 함량으로 인한 자연발화 특성과 고 수분으로 인한 증발잠열 손실 및 일부 탄 자체의 난연성 최성분으로 인한 미연분 발생 증가 등으로 기존의 역청탄에 비해 활용성이 떨어지나, 낮은 유황분 함량에 따른 황산화물 배출 감소특

성과 낮은 회분 및 알칼리비금속화합물 함량으로 인한 회분의 용착 문제 감소는 활용에 유리한 면으로 작용할 수 있을 것으로 예상되었다.

참고문헌

1. Raask E. Mineral impurities in coal combustion-behaviour problems and remedial measures, New York: Hemisphere Publishing, 1985.
2. Couch GR. Understanding slagging and fouling during the combustion. IEACR/72, IEA Coal Research, London, UK, 1994.
3. 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.
4. 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.
5. Durie RA. The science of Victorian brown coals, London: Butterworth Heinemann, 1991.
6. Reid WT. External corrosion and deposits-boilers and gas turbines, New York: Elsevier, 1971.
7. Lindner ER, Kosminski A, Taylor C, Williams RG. Effects of additives on fouling behaviour characteristics of south Australian brown coals. Proceedings of Australian Coal Science Conference, The University of Adelaide, 16-18 May, 1988. p.B2:11.1-B2:11.14.
8. Domazetis G, Buckman S. Fly ash formation and sulphation during the combustion of brown coal, vol. 3C. Effects of aluminium based additives on ash formation, NERDDC project 933, End of Grant Report, State Electricity Commission of Victoria, Research and Development Department, Report No. ND/87/043, 1987.
9. Ledger RC. Short term combustion tests using additives. State Electricity Commission of Victoria, Research and Development Department, Report No. SO/89/158, 1989.
10. Ledger RC. Pilot plant testing of the effects of additives on fouling by Latrobe valley coals. State Electricity Commission of Victoria, Research and Development Department, Report No. SO/87/134, 1987.
11. Lowe AJ, McCaffrey DJA, Richards DG. Fuel Process Technol 1993;36:47-53.
12. Bobcock & Wilcox, *Steam: its generation and use*, 39th edition, Bobcock & Wilcox company 1978; 15.1-15.9
13. 한국전력공사, 연소실무, 한국전력공사 1989;4.21-4.22.