

순환유동층에서 유·무연탄 혼소 특성

이종민* · 김재성* · 이은모**

Characteristics of Co-Combustion of Korean Anthracite with Bituminous Coal in a Circulating Fluidized Bed

J. M. Lee*, J. S. Kim* and E. M. Lee**

ABSTRACT

The characteristics of co-combustion of Korean anthracite and bituminous coal was determined in a TGA and a lab-scale CFB reactor. The combustion reactivity of Korean anthracite ($E = 51.2$ kcal/mol) was much lower than that of bituminous coal ($E = 14.5$ kcal/mol). As the addition amount of the bituminous coal into the anthracite was increased, the reactivity of the anthracite was found to be improved. The effluent rate of the emission gases from the CFB reactor was not changed appreciably when each coal burned. As the bituminous coal was added, however, the effluent rate of the emissions was increased. The unburned carbon in fly ash from the CFB reactor was decreased with increasing the ratio of bituminous coal in co-combustion. But as the ratio of the bituminous coal was larger than 40 %, the combustion reactivity was not increased any more.

Key Words : CFB, Co-combustion, Anthracite, Bituminous coal, TGA, Tonghae Boiler

1. 서 론

1970년대 오일쇼크 이후 2000년대 오일가격의 급상승은 석유 및 가스자원의 지역적 편재성과 매장의 유한성 문제점을 다시 한번 제고하게 하는 반면, 세계적으로 고르게 분포되어 있고 매장량이 풍부한 석탄에너지의 청정, 경제적 활용기술에 대한 연구 및 그 보급 활성화는 계속적으로 이어지고 있다. 이에 석탄 및 저급연료 등의 다양한 연료 적응성을 가진 유동층 연소기술에 대한 기술이 80년대 초에 도입되었고 이후 연소기술의 향상을 통한 대용량 순환유동층(circulating fluidized bed, CFB) 연소 기술개발을 통해 유동층 기술의 진보와 대형화를 이루면서 그 응용과 보급이 이루어져왔다[1].

현재 국내 저급 무연탄을 이용한 200 MWe

용량의 순환유동층 보일러 2기가 1998년과 1999년에 각각 도입되어 상업 운전 중에 있으며, 이는 국내 저급 무연탄을 보조연료 없이 활용하는 유일한 발전 시스템으로 평가받고 있다. 그러나, 국내 무연탄의 낮은 반응성과 높은 착화온도 그리고 순환유동층 내에서의 급격한 열충격에 의한 미분 생성은 연소로내에서의 연소성과 체류시간 저하로 낮은 전환율과 높은 미연분 생성을 가져오는 결과를 나타내는 것으로 알려져있다[2,3]. 또한, 석탄 합리화사업 이후 국내 무연탄의 한정적인 생산과 이의 분배로 이루어지는 국내 전력 생산 체제에서는 연료부족으로 인한 제약 발전이라는 한계에 부딪혀 고효율의 청정발전시스템인 유동층 보일러의 활용에 큰 제약을 가져오는 것으로 보고되고 있다[4].

선진국의 순환유동층 보일러에서의 연료다변화는 석탄과 바이오매스, 폐슬러지 및 폐플라스틱 등 다양한 연료의 혼소 연구를 지속적으로 해 오고 있으며, 중, 소규모의 순환유동층 보일러에서 실증 적용을 해 오고 있는 상황이다. 그러나

* 한전 전력연구원 수화력발전연구소

** 충남대학교 기계공학과

† 연락처, jmlee@kepri.re.kr

대부분의 혼소 연료가 비교적 연소 환경이 좋은 유연탄을 기본으로 일부 첨가되는 바이오매스 및 폐기물 연료로 이루어져 있고 대부분 연소 환경의 변화로 인한 환경성 변화에 그 초점을 두고 있음을 알 수 있다[5-10].

본 연구에서는 비교적 연소성이 나쁜 무연탄을 기본연료로 휘발분이 다량 포함되어 있는 유연탄과의 혼소 특성을 고찰함으로써 무연탄의 연소 반응성 개선에 그 초점을 맞추고자 하며, 더불어 유연탄과의 혼소 시 발생하는 연소 환경의 변화에 대해 고찰하여 실증 적용 시에 활용 가능한 기본 자료를 제공하는 데에 그 목적이 있다.

2. 실험

2.1 실험 장치

주 실험 장치는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 풍기상자(windbox) 및 분산관, 연소로(riser), 1, 2차 사이클론 및 하강관(downcomer) 그리고 L-valve로 구성되어 있으며, 이외에 공기 공급 및 석탄 공급을 위한 feeding 시스템과 주 실험

장치로부터 배출되는 배가스의 처리부와 분석부로 구성되어 있다. 연소로는 높이 2.2 m, 직경 35 mm의 연소로를 갖고 있으며, 석탄 및 회재 입자는 연소로에서 비산되어 1차 사이클론을 지나 하강관(직경-25 mm)으로 유입되며, 유입된 고체는 비기계적 밸브인 L-valve를 거쳐 다시 연소로로 재순환하게 된다. 1차 사이클론에서 포집되지 않은 고체 입자는 2차 사이클론에서 포집되며, 이후의 비산 입자는 bag-filter에서 포집된다. 석탄 입자의 주입은 크게 batch 형태와 continuous 형태를 모두 취할 수 있도록 구성하였으며, variable motor 및 screw feeder를 통해 정량 조절되어 주입될 수 있도록 구성하였다. 기체 공급은 N₂와 공기를 각각 질량제어기(MFC)로 정량 주입할 수 있도록 하였으며, 각각에서 정량 조절된 기체는 예열기를 지나 연소로로 공급되도록 구성되어 있다. 순환유동층 연소로에서 배출된 배가스는 음축기를 지나 미세 입자 포집 후, 가스분석기로 보내져 분석되도록 구성되어 있으며, 배가스량 또한 질량 유량계로 측정할 수 있도록 되어있다. 연소로 및 하강관은 각각 3단 및 2단의 외부 가열기가 부착되어 있으며, 적정 연소로 온도를 조절할 수 있도록 구성되어 있

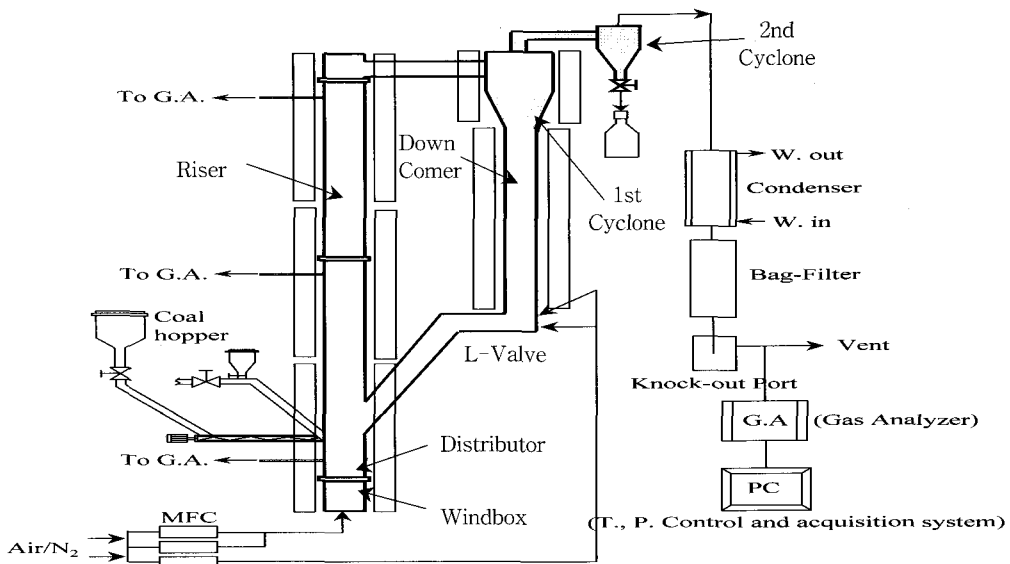


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

Table 1. Analyses of Korean anthracite and bituminous coal

	DoGae	Dong Won	Sam Chuk	Gyung Dong	Jang Sung	Han Bo	Tae Bak	MIM	Roto South	Blairathol
Proximate analysis (wt.%)										
Moisture	3.26	3.07	3.60	3.76	2.82	4.46	4.15	1.52	7.97	3.19
VM	3.90	4.33	3.89	3.92	5.00	4.09	3.68	24.27	43.02	26.05
FC	60.86	51.00	58.44	65.32	47.02	60.40	61.58	58.28	42.17	62.61
Ash	31.98	41.60	34.07	27	45.16	31.05	30.59	15.73	6.84	8.15
Ultimate analysis (wt.%)										
C	63.21	52.58	60.76	68.79	49.41	63.74	64.38	72.73	76.00	65.73
H	0.77	0.77	0.82	0.82	0.80	0.79	0.80	4.23	4.10	4.48
O	2.16	3.01	2.41	2.41	2.48	2.10	2.16	5.38	9.60	21.45
N	0.39	0.36	0.43	0.43	0.40	0.46	0.50	1.46	1.69	0.88
S	0.41	0.36	0.24	0.24	0.44	0.41	0.22	0.23	0.19	0.04
Ash	33.06	42.96	35.34	35.34	46.47	32.50	31.92	15.97	8.42	7.42

다. 주 반응기의 온도 조절 및 순환유동층의 층 구성과 순환 여부를 판단하기 위해 열전대 및 pressure transmitter가 연소로 및 하강관에 높이에 따라 각각 13개 및 10개 설치되어 있으며, 모든 운전 및 결과 자료는 PC로 전송되어 저장도록 구성되었다.

2.2 실험 조건 및 방법

본 실험에 사용한 유, 무연탄의 특성을 Table 1에 나타내었다. Table 1에서 보는 바와 같이 사용된 무연탄(도계, 동원, 삼척, 경동, 장성, 한보, 태백) 7종은 비교적 회가 많고 휘발분이 적은 저급탄인 반면, 유연탄(MIM, RotoSouth, Blairathol) 3종은 휘발분이 많고 비교적 회가 적게 함유되어 있는 고품위 탄종임을 알 수 있다.

순환유동층 반응기에서 유, 무연탄의 혼소 특성 고찰은 다음의 과정을 거쳐 수행되었다. 순환유동층 연소장치에 가열하여 실험하고자 하는 온도에 맞춘 다음, 질소 혹은 일정량의 산소를 포함하는 공기를 정량 조절하여 주입한다. 이때 유량은 순환유동층 조업조건이 이루어지는 조건으로 주입되며, 반응기의 온도유지 및 저하 방지를 위해 예열기를 지나 주입된다. 일정 입도($d_p = 2 \sim 4 \text{ mm}$)의 석탄을 샘플링(2~6 g)하여 준비한 후, 실험 조건이 완성되면, batch feeding line을 통해 일시에 유동층 내로 주입하게 된다. 주입 후, 탈휘발 혹은 연소 조건에서 발생하는 기체는 IMR-2000 및 CO_2 분석기를 통해 분석하였으며, 또한 배가스 후단부의 가스 배출량 측정기를 통

해 배가스량도 동시에 측정하였다. 배가스량의 전체 측정을 통해 기체상의 mass balance를 계산한 후, 다음에 기술한 방법에 의해 미반응 잔여 화를 반응기로부터 포집하여 전체 mass balance를 확인하였다[3]. 일정 연소반응 시간의 종결이 완료되면, N_2 로 유동화 기체를 바꾼 다음, 반응기의 가열을 멈추고, 유동층 배출라인을 통해 연소로 안에 남아있는 입자를 꺼낸다. 이 고체 입자들은 공기 중에서 냉각하여 체를 통해 층물질과 구분한 후, 나머지 미반응 카본의 양을 측정하기 위해 고온 로에서 연소시켜 연소 전후의 무게 변화를 통해 잔여 카본의 양을 계산한다. 이때 1,2차 사이클론에서 포집한 잔여 입자도 포함시켜 잔여 카본의 양을 측정하여, 종합적 mass balance를 검토하였다.

한편, 층물질로 사용되는 모래(SiC)는 석탄과의 분리를 원활하게 하기 위해 평균입도가 $90 \mu\text{m}$ 로써 석탄에 비해 작은 입도를 사용하였으며, 250~300 g의 층물질을 충전하여 사용하였다. 순환유동층 연소장치의 온도 조절은 각 로를 조절하여 일정온도 조건(연소로 1단: 880°C, 2단: 870°C, 3단: 820°C, 하강관 1,2단 : 750°C)에 도달함이 확인된 후 석탄을 투입하였으며, 연소 중 온도변화를 지속적으로 감지하여 일정온도가 되도록 지속적인 조율을 하였다. 유동화 공기는 층물질 기준으로 난류에서 fast regime으로 전이되는 유속인 1.2 m/s를 적용하였다.

유, 무연탄의 혼소비는 무연탄을 기준으로 유연탄을 50 %까지 혼소하였을 때의 연소 특성을

고찰하였으며, 더불어, 무연탄 및 유연탄의 기본 연소 특성을 알기 위해 TGA (thermo gravimetric analyzer)에서 각 석탄의 기본 연소 반응성과 혼소 시 영향 또한 고찰하였다. TGA에서의 실험은 등온조건에서 탈 휘발된 후의 좌의 연소 kinetic 고찰과 더불어 비등온에서의 혼소 실험을 수행하여 단일 연소 때와의 연소 상황을 비교 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

Figure 2는 무연탄과 유연탄 좌에 대해 TGA

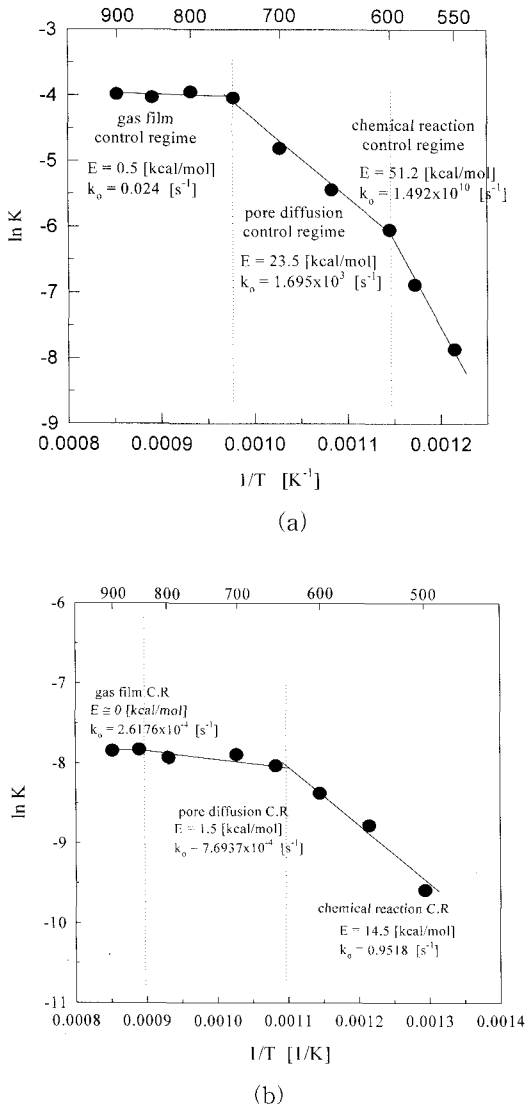


Fig. 2 Arrhenius plot for combustion reaction (a) Korean anthracite (b) bituminous coal

에서 등온조건인 연소전환율로부터 얻은 자료를 Arrhenius plot을 통해 구한 연소반응성 지수를 보여주고 있다[11, 12]. 그림에서 보는 바와 같이 화학반응 율속단계(chemical reaction control regime)에서의 활성화에너지는 무연탄(경동)의 경우가 51.2 kcal/mol, 유연탄(Blairathol)의 경우가 14.5 kcal/mol로 무연탄의 활성화에너지가 훨씬 높은 것으로 나타나고 있다. 이는 무연탄의 연소반응성이 더 낮아 상대적으로 연소하기 어려운 연료임을 나타내고 있다.

Figure 3은 승온 조건(10°C/min)에서 무연탄(경동)과 유연탄(Blairathol)과의 혼소조건에 따라 연소 반응시간의 종결에 대한 무게감량 및 그 기울기 변화 고찰을 나타낸 그림이다. 그림에서 보듯이 무연탄 단독연소 시에는 상기의 승온 조건에서 900°C까지 이르더라도 연소반응이 완결되지 못함을 볼 수 있다. 그러나, 유연탄을 첨가하여 혼소함에 따라 연소반응 완결시간이 빨라짐을 볼 수 있으며, 유연탄 첨가량이 증가함에 따라 반응시간의 종결이 좀더 빨리 이루어짐을 고찰할 수

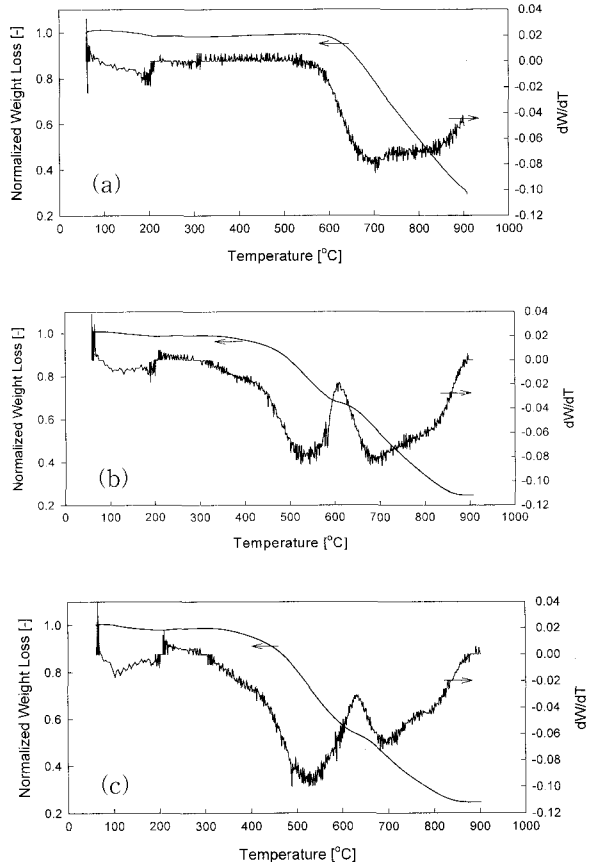


Fig. 3 Trends of combustion reaction in TGA
 a) Gyungdong: Blairathol = 100 : 0
 b) Gyungdong: Blairathol = 70 : 30
 c) Gyungdong: Blairathol = 50 : 50

있다. 이는 반응성이 낮은 무연탄이 전체 반응 종결 시간을 결정짓기 때문에 실제 반응 종결시간은 변화가 없어야 하지만, 유연탄의 첨가로 인한 탈휘발 증대로 주위 반응가스의 변화와 더불어 회 내의 촉매작용 그리고 낮은 착화 온도 등이 무연탄 연소 반응성 향상을 이루는 것으로 판단된다.

Figure 4는 국내 무연탄의 하나인 동원탄에 대해 순환유동층 실험 장치에서 일정 석탄량(2~6g)을 투입한 후 배출되는 배가스의 농도를 측정하여 도시한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 CO₂ 및 NO_x, 그리고 SO₂의 배출은 투입된 석탄량과 어느 정도 상관관계를 가지고 배출됨을 고찰할 수 있다. 즉, 투입된 석탄량이 증가할수록 배가스의 배출이 초반에 급격하게 증가함을 고찰할 수 있으며, batch feeding의 실험 방식으로 초반에 연소 반응의 대부분이 이루어지고 나머지가 잔여 화가 후반에 지속적으로 연소되는 것을 알 수 있다. 한편, 배가스 배출 형태를 고찰해보면 초반에 급격한 반응 이후 지속적으로 배출되는

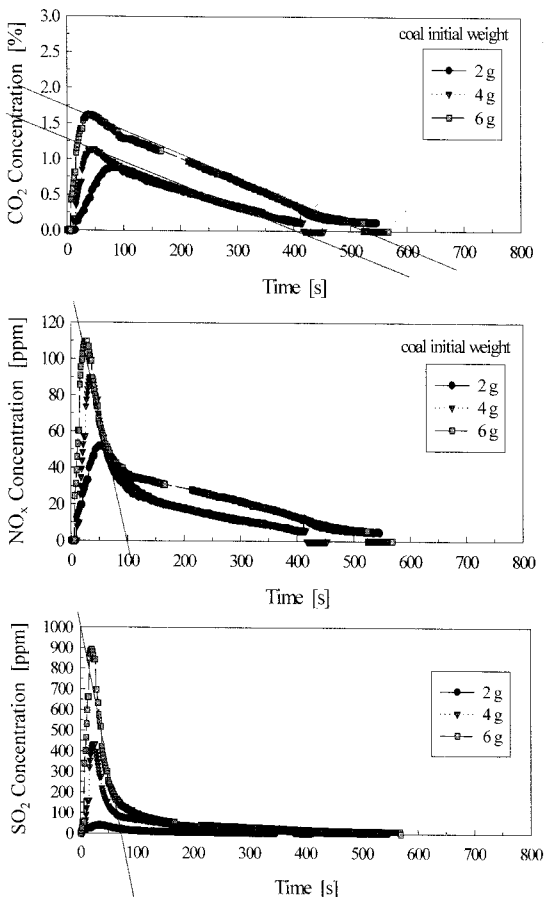


Fig. 4 Gas emission during combustion of the anthracite (DongWon)

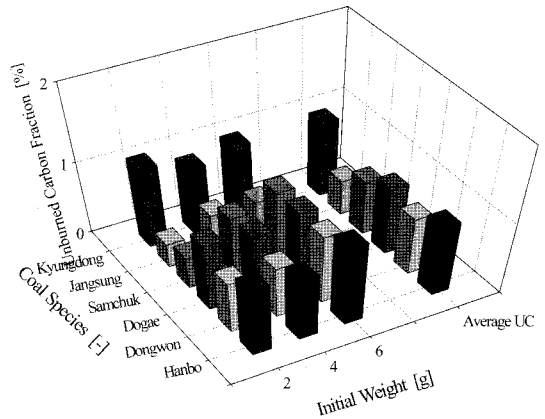


Fig. 5 Unburned carbon fraction of the anthracite

배가스의 감소형태(기울기)가 모두 비슷한 형태 즉, 동일한 기울기로 감소함을 고찰할 수 있다. 단지, SO₂의 경우, 석탄 투입량이 적은 경우(2g), SO₂의 발생 및 감소가 다소 영향을 받는 것으로 나타났으나, 이는 투입되는 석탄 양에 따른 탈휘발분의 영향으로 판단된다. 한편, 본 연구에서 배가스에 적용한 기울기는 탈휘발이 일어난 최고점으로부터 연소가스 배출 기울기 변화량이 5% 이내로 유지되는 지점까지의 자료를 1차 regression하여 구한 값으로, 탈휘발 후 변화하는 주위 연소 환경에 대한 영향을 평가하기 위해 도입 적용하였다. 그림에서 볼 수 있듯이, 배가스 배출의 양적인 증가는 투입 석탄량에 의존하지만 잔여 화의 지속적 연소로 인한 배출 기울기는 석탄의 반응성과 주위 반응 환경, 특히 반응 기체와 관련이 있는 부분이라 할 수 있으며, 본 경우에 있어서는 반응성과 주위 반응 환경이 같은 연소이기 때문에 거의 같은 기울기를 나타냄을 고찰할 수 있었다. 즉, 연소 반응성의 변화가 없는 경우에 있어서는 배가스 배출의 변화가 크게 변화지 않음을 알 수 있었다.

Figure 5는 무연탄의 연소량에 따른 미연분 배출 분율(unburned carbon fraction(%); UCF = C in ash/ash × 100)을 탄종에 따라 나타낸 것이다. 미연분 배출 분율(UCF)은 회재당 포함된 카본의 양으로 표현되며, 투입된 석탄량과는 상관관계가 없으며 충분한 공기량이 존재한다면 모두 동일한 UCF를 나타내는 것이 원칙이다. 그림에서 볼 수 있듯이 초기 투입된 석탄양에 따라 탄종별로 UCF가 약간의 차이를 보이긴 하나 비교적 큰 차이가 나타나지 않음을 고찰할 수 있어, 이를 평균하여 그래프에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 회재량이 비교적 적은 경동탄과 한보탄의 경우 UCF이 높게 나타났으며 반면에 회

재량이 많은 장성탄의 경우 상대적으로 낮은 UCF를 보이는 것으로 나타났다. 이는 회제당 배출되는 탄소의 양으로 정의되는 UCF의 특성 때문으로 이해할 수 있다.

Figure 6는 유연탄(Rotosouth)의 단독 연소시 배가스 특성 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 유연탄의 배가스 특성 또한 무연탄의 그것과 크게 다르지 않고 단독 연소 후 배출되는 배가스의 배출 기울기가 투입된 석탄 양에 상관없이 거의 비슷함을 고찰할 수 있다. 이는 무연탄과 마찬가지로 석탄 양의 증가는 배가스 총 배출량을 증가시키기는 하나 연소 반응성의 변화가 크지 않아 연소 후 배출되는 배가스의 배출 속도는 거의 일정함을 나타내고 있다. SO₂의 배출은 무연탄의 경우와 마찬가지로 석탄 투입량이 적은 경우에 탈취발분의 영향으로 인한 기울기 상관성이 다소 떨어지는 것으로 나타났다.

한편, 유연탄 3종(Rotosouth, Blairathol, MIM)에 대해 각각의 석탄 투입량에 따라 미연분의 발생 분율을 Fig. 7에 나타내었다. 그림에 보는 바와 같이 투입량의 증가에 따라 미연분량의 발생은 무연탄과 마찬가지로 직선적으로 증가하나 이의 분율을 보면 석탄양에 큰 상관없음을 알 수

있다. 단지, 미연분의 절대량은 무연탄에 비해 상대적으로 적으며, 무연탄의 경우 15분, 그리고 유연탄의 경우 8분 정도의 평균 연소시간의 소요되

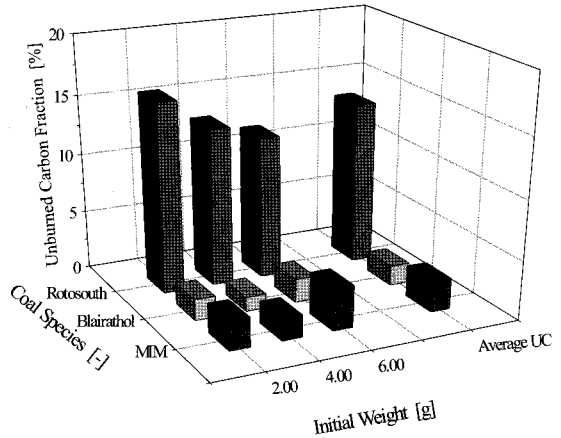


Fig. 7 Unburned carbon fraction of the bituminous coal

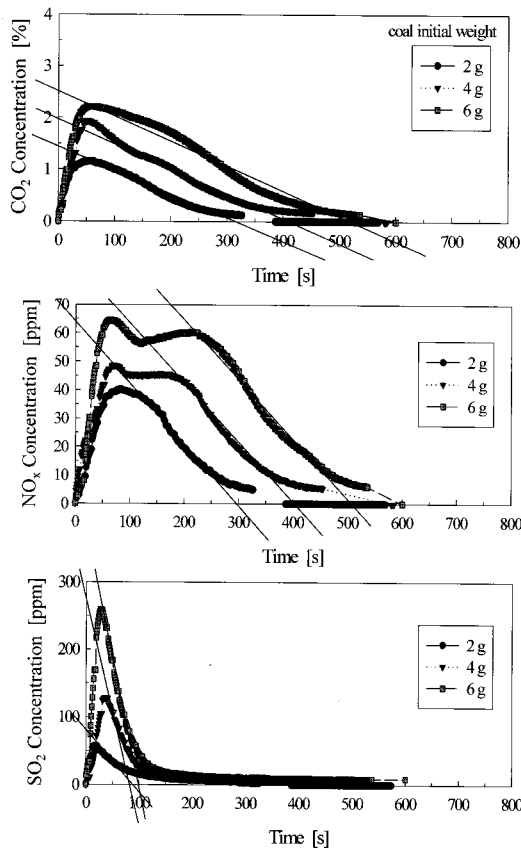


Fig. 6 Gas emission during combustion of the bituminous coal (rotosouth)

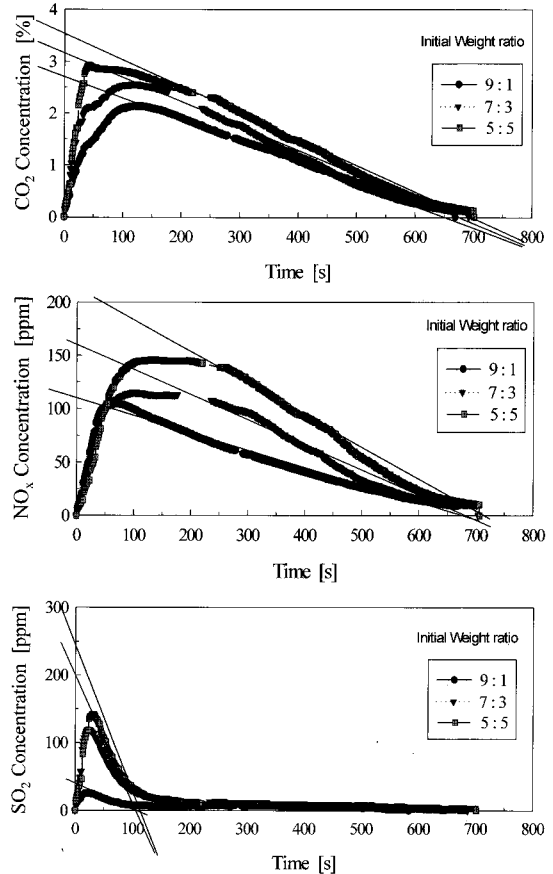


Fig. 8 Gas emission during co-combustion of the anthracite and the bituminous coal

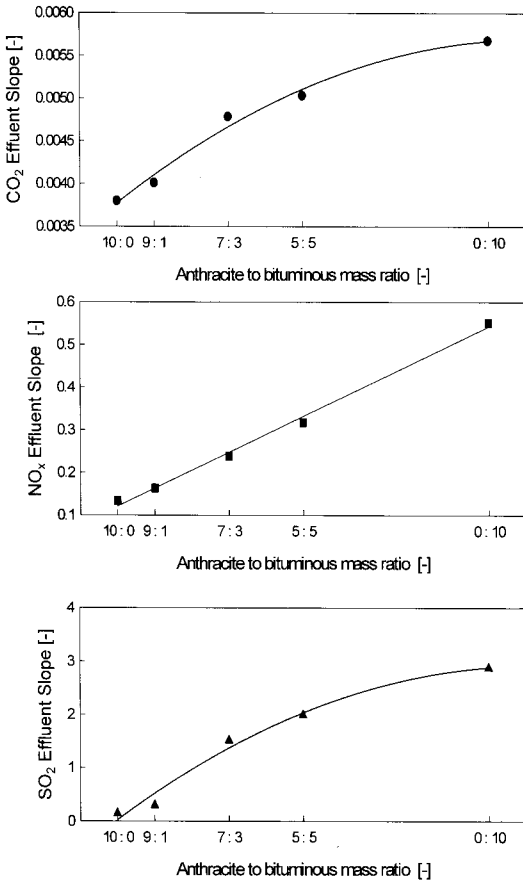


Fig. 9 Slope of co-combustion gas emission rate

는 것으로 고찰되었다.

회제당 카본 함량을 의미하는 미연분 분율은 석탄 투입량에 따른 경향성이 있다기 보다는 전체적인 배출 분율의 일정함이 유지되어야 하는 당위성에 무연탄과 마찬가지로 평균값을 환산하여 그림에 나타내었다. 회제량이 가장 적은 Rotosouth탄의 미연분 분율이 가장 높게 나타났으며, 이는 무연탄과 마찬가지로 미연분 절대량의 배출이 가장 큰 것과 그리고 회제 함량이 가장 적은 이유로 인한 상대적 분율이 크게 나타난 것으로 이해된다.

Figure 8은 무연탄(경동탄)과 유연탄(MIM)탄과의 혼소비(9:1, 7:3, 5:5)에 따른 배출가스 특성을 나타낸 것이다. CO₂ 배출특성을 보면 앞서 고찰한 무연탄 단독 연소 및 유연탄 단독 연소 때와는 다른 배출 경향을 보여주고 있다. 즉, 기존의 단독 연소시에는 초기 연소 및 탈휘발 과정에서 남은 잔여 화의 연소시 배출되는 CO₂의 배출 기울기가 석탄 투입량에 관계없이 어느 정도 비슷한 기울기를 갖고 있는 반면에, 혼소시에는 유

연탄의 혼소비가 증가함에 따라 배출 기울기가 증가함을 나타내고 있다. 이는 타 배가스의 배출에도 동일하게 나타나는 현상으로, 투입량이 일정할 경우 혼소비 변화에 따른 유, 무연탄의 투입량 변화에 따른 기울기의 변화로 나타나는 현상이 아니라, 혼소비에 따라 잔여화의 연소 속도가 증가하고 이에 따라 배출 가스의 배출 속도도 증가하는 것으로 이해할 수 있어, 유연탄의 연소성이 무연탄의 연소 활성화에 영향을 주는 것으로 판단할 수 있다.

혼소비에 따른 가스 배출 속도의 영향을 알아보기 위해 Fig. 8에 나타난 그래프의 잔여 화의 연소시 기울기 값을 이용하여 Fig. 9에 배가스 배출 속도 기울기를 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 유연탄의 혼소비가 점차 증가함에 따라 배출되는 가스의 배출 기울기 값은 점차 증가함을 볼 수 있다. 이는 혼소비의 증가가 어느 정도 연소 환경의 변화를 가져올 수 있으며, 이의 결과로 연소 활성화가 이루어 질 수 있음을 의미한다. 그러나, CO₂ 및 SO₂의 기울기 변화량은 점차 둔감해짐을 고찰할 수 있었으며 이는 혼소비의 증가가 지속적으로 일어나도 연소 활성화에는 어느 정도 한계가 있음을 의미하는 것으로 이해할 수 있다. 이러한 변화의 궁극적인 원인은 초기 탈휘발되는 분위기에서 무연탄의 연소 환경이 좋아지는 측면과 더불어 연소 분위기 가스내에 발화할 수 있는 수소나 산소, 그리고 기타 hydrocarbon 화합물 성분의 증가가 이루어져 연소가 활성화 되는 것으로 이해할 수 있다.

Figure 10은 무연탄과 유연탄의 혼소비에 따른 미연분 분율을 도시한 것이다. 무연탄과 유연탄의 혼소비가 점차 증가함에 따라 배출되는 미연

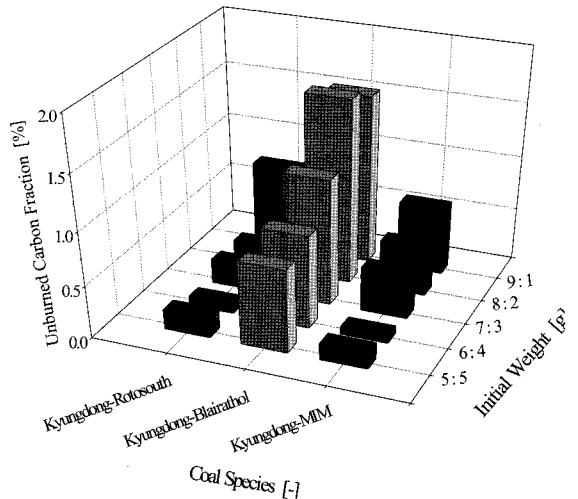


Fig. 10 Unburned carbon fraction after co-combustion

분의 절대량은 점차 감소함을 고찰 할 수 있었으며, 이는 상대적으로 연소성이 좋은 유연탄량의 증가로 인한 미연분 감소분과 더불어 무연탄의 연소 활성화로 인한 미연분 감소량이 모두 혼재되어 있는 형태로 이해된다. 미연분의 감소 폭은 혼소비가 증가함에 따라 점차 둔화하는 것으로 나타났다. 이를 무연탄과 유연탄의 혼소에 따른 회재 배출 비를 고려하여 미연분 분율로 나타내면 그림에서 보는 바와 같이 무연탄 혹은 유연탄 단독 연소에서는 상호 비슷한 미연분 분율을 나타내고 있으나 혼소에 따라서는 상대적으로 미연분 분율이 감소하는 것으로 나타나고 있으며 그 감소폭은 점차 둔화되거나 도리어 증가하는 경향을 보여주고 있다. 이는 유연탄의 혼소량이 증가함에 따라 석탄내의 회량이 상대적으로 줄어들기 때문에 나타나는 현상으로 이해할 수 있다. 그러나, 궁극적으로 미연분의 절대량 배출은 혼소에 따라 점차 감소하는 경향을 나타내고 있어, 배출가스의 배출 속도 증가 결과에서 고찰한 바와 같이 연소 활성화에 의한 미연분의 감소가 일어나는 것으로 판단된다.

4. 결론

순환 유동층 연소로 및 TGA를 이용하여 국내 저급 무연탄과 고휘발분의 유연탄의 혼소 특성을 고찰하였다.

- 1) TGA의 등온 조건에서 얻은 연소 전환율로부터 구한 활성화 에너지는 무연탄의 경우(51.2 kcal/mol)가 유연탄(14.5 kcal/mol)에 비해 매우 높아 연소 반응성이 낮은 것으로 고찰되었다.
- 2) TGA에서의 유, 무연탄 혼소 특성 고찰을 통해 유연탄의 혼소 첨가량이 증가할수록 연소완결시간이 빨라짐을 고찰할 수 있었다.
- 3) 순환유동층 연소로에서의 무연탄과 유연탄 각각의 단독 연소 반응시 배출되는 배가스의 배출 속도는 연소하는 석탄량에 무관하게 일정한 기울기를 가지고 있음을 고찰할 수 있었으며, 미연분 분율은 연소량보다는 회의 함량에 따라 크게 좌우됨을 고찰할 수 있었다.
- 4) 순환유동층 연소로에서 유, 무연탄의 혼소시 유연탄의 혼소량 증가에 따라 점차 배가스 배출 속도가 증가함을 고찰 할 수 있었으며, 더불어 미연분 배출에 있어서도 점차 그 양이 감소함을 고찰할 수 있었다.

상기의 혼소 결과로부터, 무연탄의 연소 시 유연탄의 혼소를 통해 무연탄의 높은 초기 발화온도를 혼소를 통해 낮출 수 있는 점과, 무연탄의 단독 연소시 낮은 연소성으로 인한 미연분 발생 증가를 혼소를 통해 저감시킬 수 있을 것으로 기

대할 수 있다. 결과적으로 저급 무연탄의 연소성 상승은 순환유동층에서 국내탄의 연소 안정성을 기대할 수 있어 무연탄 연소 시 발생하는 후연소 문제 및 후단부 온도 상승 문제 등의 낮은 연소성으로부터 야기되는 여러 문제점들에 대한 해결도 어느 정도 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] VGB Technical Scientific Reports, "The Future of Fluidized bed Combustion," ISSN-No. 0937-0188, 1997.
- [2] J. M. Lee, J. S. Kim and J. J. Kim, "Evaluation of the 200MWe Tonghae CFB Boiler Performance with Cyclone Modification," Energy-The Int. J., Vol.28, 2003, pp.111-118.
- [3] J. M. Lee, J. S. Kim and J. J. Kim, "Comminution Characteristics of Korean Anthracite in a CFB Reactor," Fuel, Vol.82, 2003, pp.1349-1357.
- [4] 한국전력공사, 국내탄용 미분탄 화력보일러의 유동층 전환에 관한 타당성 조사 연구, 2005.
- [5] H. Kobro and C. Brereton, "Control and Fuel Flexibility of Circulating Fluidized Bed," CFB Technology, ed. by Basu, Pergamon Press, New York, 1986, pp.263-272.
- [6] L. Lafanechere, P. Basu and L. Jestin, "The Effects of Fuel Parameters on The Size and Configuration of Circulating Fluidized Bed Boilers," Journal of Institute of Energy, Vol. 68, 1995, pp.184-192.
- [7] S. W. Cho, K. J. Oh, H. T. Jang, B. S. Tae and D. S. Doh, "Gas Emission of Mixed Firing of Anthracite Coal and Bituminous Coal in FBC," Journal of Korean Society of Environmental Engineers, Vol.18, No.3, 1996, pp.267-275.
- [8] T. Knobig, J. Werther, L. E. Ámand and B. Leckner, "Comparison of Large and Small Scale Circulating Fluidized Bed Combustors with Respect to Pollutant Formation and Reduction for Different Fuels," Fuel Vol.77, No. 14, 1998, pp.1635-1642.
- [9] B. Leckner and A. Lyngfelt, "Optimization of Emissions from Fluidized Bed Combustion of Coal, Biofuel and Waste," Int. J. Energy Res., Vol.26, 2002, pp.1191-1202.
- [10] B. Leckner, L. E. Ámand and J. Werther, "Gaseous Emissions from Co-combustion of Sewage Sludge and Coal/Wood in a Fluidized Bed," Fuel, Vol.83, 2004, pp.447-486.

[11] J. M. Lee, J. S. Kim and J. J. Kim, "Combustion and Fragmentation Characteristics of Korean Anthracite," 16th ASME FBC Conference, USA. 2001. pp.889-897.

[12] Y. H. Yu, S. D. Kim, J. M. Lee and K. H. Lee, "Kinetic Studies of Dehydration, Pyrolysis and Combustion of Paper Sludge," Energy-The int. J., Vol.27, 2002. pp.457-469.