

유동층을 이용한 유,무연탄 혼합 연소로에서 대기오염물질 생성과 연소효율 연구

조 상 원 · 민 병 철

창원기능대학 환경기술학과
(1997년 3월 10일 접수, 1997년 5월 28일 채택)

A Study on Production of Air Pollutants and Combustion Efficiency of Anthracite-Bituminous Coal Blend Combustor Using Fluidized Bed

Sang-Won Cho and Byoung-Chul Min

Dept. of Environmental Technalogy, Chang-Won Polytechnic College, Chang-Won 641-772, Korea
(Received March 10, 1997, Accepted May 28, 1997)

요 약 : 본 연구는 유동층연소로에서 유,무연탄 혼합연소시 대기오염물질 발생과 연소효율에 관하여 실험하였으며, 실험결과는 다음과 같다. 유동층연소로 높이가 증가할수록 이산화황과 질소산화물의 농도는 증가하는 것으로 나타났으며, 무연탄 혼합비가 증가할수록 이산화황의 농도는 증가하였으나 질소산화물농도는 큰 변화가 없었다. 무연탄 혼합비가 증가할수록 비산유출율도 증가하였고 주입 가연성분에 대한 유출 가연성분비도 증가하였다. 또한, 무연탄 혼합비에 관계없이 비산유출입자의 평균입경에 따른 미연분 함량은 미세입자에서 대체로 높게 나타났다. 한편, 연소효율은 층온도 850℃ 이상과 과잉공기 20% 이상에서 큰 차이를 보이지 않았으므로 유속 0.3m/s, 층온도 850℃, 과잉공기비 20%의 조건으로 혼합연소시키는 것이 적절한 것으로 나타났다.

Abstract : We have been studied that combustion efficiency and the production of air pollution of anthracite-bituminous coal blend in a fluidized bed coal combustor. Also, the reaching time of steady state condition have been studied. This experimental results are presented as follows. As the height of fluidized bed combustor becomes higher, the concentrations of SO₂ and NO_x mainly increased. Also, as anthracite fraction increased, the emission of SO₂ concentration was increased but, the variation of NO_x concentration was negligible according to anthracite fraction. When anthracite fraction ratio was increased, elutriation rate was increased and exit combustible content over feeding combustible content was increased. Regardless of anthracite fraction ratio the uncombustible weight percentage according to average diameter of elutriation particles were approximately high in the case of fine particles. Over bed temperature 850℃ and excess air 20%, the difference of combustion efficiencies were little. It is estimate that the combustion condition in anthracite-bituminous coal blend combustion is suitable at the velocity 0.3 m/s, bed temperature 850℃, the excess air 20%.

1. 서 론

에너지 문제는 인류에게 있어서 매우 중요하고 해결해야 할 영원한 과제이며, 이의 해결을 위해서는 다방면의 에너지원에 대한 연구가 필요하다. 또한, 현대 산업

사회의 발전에 있어 그 원동력은 에너지 획득 능력에 크게 의존한다고 할 수 있으며, 연료의 연소는 인류 에너지원의 가장 중요한 수단이 된다. 최근 에너지 관련분야의 연구방향은 석유 의존도의 경감을 위한 대체에너지 개발에 집중되고 있다. 그 중 석유를 대체할 수 있는

중요한 에너지원이라고 생각되었던 원자력발전의 경우 [1] 핵의 확산, 방사능 오염, 핵폐기물 처리 등의 안전성에 대한 문제점을 내포하고 있으므로 화석연료의 사용이 계속 증가하고 있는 실정이다. 또한, 청정에너지 개발의 기술적, 경제적 어려움을 고려할 때, 환경오염 문제와 경제성으로 인해 현재 사용이 감소되고 있는 석탄의 장점을 직시하고 그 이용 기술을 개발하여 혁신적인 대체에너지의 개발이 이루어질 때까지는 석탄의 효율적인 사용이 절대적으로 필요한 실정이다. 특히 에너지원의 해외 의존도가 높은 우리 나라의 경우에는 그 필요성이 더욱 절실하다.

현재 국내 석탄의 대부분은 고회분 무연탄으로서 저질탄으로 알려져 있으며 [4, 5], 많은 양이 산지에 방치됨으로써 [2, 6] 탄광 지역사회의 환경공해 문제를 일으키고 있고, 국내 무연탄의 수요감소로 인한 폐광의 증가는 국가 에너지원의 낭비를 초래하고 있다.

국내외적으로 석탄의 활용방안에 대한 연구가 이루어져 왔으나, 현재까지 보고한 바에 의하면 유동층연소에서 직접 연소시키는 것이 에너지 회수율을 높이고, 공해물질 배출량을 최소화할 수 있는 가장 효과적인 방법이라고 알려져 [7, 8, 9] 왔다. 유동층 연소법의 경우에는 석탄의 종류에 제약이 없고, 석탄의 전처리 과정을 거치지 않고 직접 연소시킬 수 있으며, 질소산화물과 황산화물 제거 등 공해방지의 측면에서도 석탄연소의 첨단기술로 인식되고 있다 [10, 11]. 또한 미분탄 연소에 비해 장치 규모를 작게할 수 있으며, 기-고 접촉면적을 증가시키고 연소로내에서 난류를 발생시켜 연소효율을 증가시킬 수 있으며, 소결현상 방지에도 효과가 크다.

따라서 국내산 무연탄과 외국산 유연탄을 함께 혼합 연소시키면 회분량도 무연탄만 연소시킬때 보다는 상대적으로 적을 것이고, 회재의 유동화물질 역할과 유연탄의 수입 대체효과, 광산보호 측면에서 매우 중요하다고 하겠다.

한편, 이러한 석탄 유동층연소로의 조업시 입자상물질과 질소산화물, 황산화물등이 발생되므로 이러한 대기오염물의 제어를 위해서는 연소특성을 조사하여 대기오염물의 생성 및 배출특성에 대한 연구가 선행되어야 한다.

따라서 본 연구는 유동층연소로에서 고회분과 저열량인 무연탄과 저회분과 고열량인 유연탄의 혼합연소시 무연탄혼합비에 따른 미세입자의 비산유출율과 가스상물질의 농도 변화에 대해 살펴보고, 무연탄 혼합비, 주입공기 유량, 과잉공기비, 층온도등의 조업변수에 따른 연소효율을 알아보았다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1. 시 료

본 실험에서 사용한 무연탄은 충북 부령産이며 발열량이 매우 낮고, 유연탄은 호주산으로 저회분, 고열량 석탄이다. 시료는 Roller mill로 분쇄하여 무연탄은 1.00 mm, 유연탄은 1.68 mm의 U.S Tyler 표준체를 이용하여 분류하였다. 1차, 2차, 3차로 분류된 시료는 상대적으로 안정된 상태를 유지하기 위하여 충분히 혼합하였으며, 잘 건조시킨 공기와 접촉되지 않도록 플라스틱 용기에 담아 보관하였다. 이들 시료에 대한 공업분석치는 Table 1에 나타내었으며, 원소분석치는 Table 2에, 그리고 회분의 성분분석은 Table 3에 나타내었다. 원소분석을 이용하여 발열량을 계산하면 무연탄은 2,010 kcal/kg로 매우 낮고, 유연탄은 6,520 kcal/kg로서 높은 발열량을 보인다. 휘발분과 고정탄소를 합한 가연분은 무연탄이 33.45%이며, 유연탄이 84.57%로 유연탄이 무연탄보다 약 2.5배의 가연분을 함유하고 있는 것으로 나타났다. 시료 중의 황성분은 무연탄이 0.3%로 0.2%인 유연탄보다 약간 높게 나타났으며, 회분에 함유된 주성분은 SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ 등이다.

2.2. 실험장치

본 실험에 사용한 실험장치는 Fig. 1와 같으며, 유동층 연소로는 내경 0.067 m, 높이 약 2m이며 부식을 방지하

Table 1. Proximate Analysis of Coals

sort \ term	Moisture (wt.%)	Volatile matter (wt.%)	Ash (wt.%)	Fixed carbon (wt.%)
Anthracite	1.80	6.48	64.75	26.97
Bituminous	6.74	27.38	8.38	57.19

Table 2. Ultimate Analysis of Coals(wt.%, dry basis)

sort \ term	C	H	O	N	S
Anthracite	30.0	0.71	4.24	0.34	0.31
Bituminous	72.3	4.30	1.70	0.36	0.21

Table 3. Analysis of Coal Ash(wt.%)

term sort	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	BaO	TiO ₂	CaO	MgO	P ₂ O ₅	Na ₂ O	K ₂ O
Anthracite	53.0	28.23	2.68	0.096	0.12	1.28	1.43	1.85	0.17	1.06	3.93
Bituminous	65.5	27.94	2.24	0.026	0.053	1.50	0.19	0.35	0.30	0.43	1.40

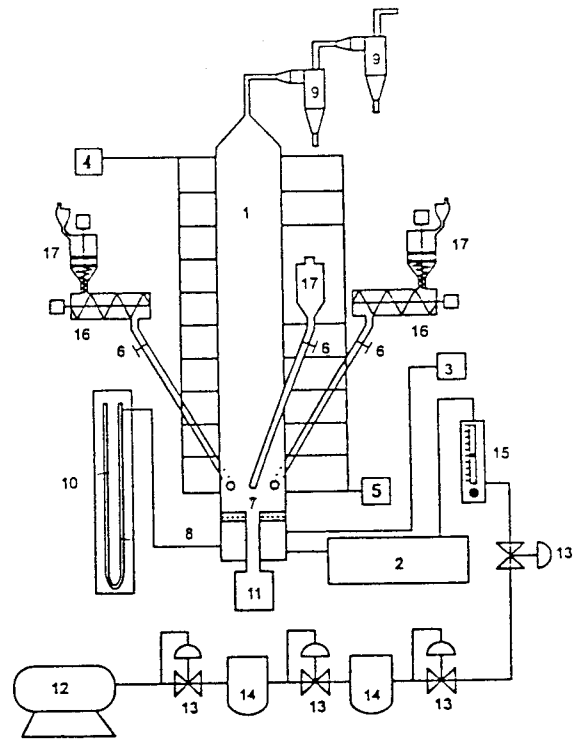
기 위하여 실린더형의 스테인레스 스틸(Stainless steel) 관으로 제작하였다. 가스 분산판에는 주입공기의 고른 공급을 유도하기 위해 유동층과 같은 재질의 직경크기 1.0 mm의 구멍 334개를 만들었다. 유동화 공기의 공급을 위하여 5 Hp의 공기압축기, 공기정화기(SMC-AF-400), 4개의 정압기(SMC-AR-400, 정압범위 0-10 Kgf/cm), 오일 정화기(SMC-AL-400)를 사용하였으며, 유동화 공기량을 조절하기 위해 밸브와 유량계(Gilmont Co. No.-15)를 설치하였다. 연소로내로 목탄과 석탄의 주입을 위하여 가스 분산판 상부 0.2 m 지점에 각각 목탄과 무연탄 및 유연탄 주입관을 설치하였으며, 회분은 연소로 하부에 설치된 진동배출기를 사용하여 배출관을 통해 배출시켰다.

배출가스중의 입자간의 마찰, 입자와 연소로 기벽과의 마찰, 그리고 연소 등에 의해 생성되는 비산 입자를 포집하기 위하여 사이클론(cyclone)을 연소로 상부에 설치하였다. 유동층내의 온도를 석탄의 착화점 이상으로 가열하기 위하여 220 V, 3 kW의 칸탈선을 이용한 예열기를 사용하였으며, 연소로 외부에 동관을 감고 냉각수를 공급하여 석탄의 연소에 의해 생성된 연소열을 제거하여 연소로내의 온도를 900℃로 일정하게 유지하도록 하였다.

열전대를 층의 높이에 따라 11개를 설치하여 유동층내의 온도를 측정하였고, 정상적인 유동화 상태를 확인하고, 유동층내의 충전물의 양을 측정하기 위하여 마노메타(manometer)를 설치하였다. 그리고 연소로 단열 보온을 위하여 단열재를 연소로 외부에 감았으며, 연소로내의 가스채취를 위하여 가스분산판으로부터 0.10 m 지점의 층영역(in-bed zone)과 약 0.25 m, 0.35 m 지점의 연소영역(splash zone), 자유단영역(freeboard zone)에 4개의 배출구등 모두 8개의 채취관을 설치하였다. 채취관은 직경 0.0064 m의 원통형 스테인레스스틸(Stainless steel)관이며 연소로와 수직으로 장치하였고, 채취관내에 100 mesh 스테인레스스틸(Stainless steel)망을 이중으로 설치하여 유동층로내의 입자상물질이 유출되는 것을 방지하였다.

2.3. 실험방법

층물질로써 多입자 회분을 L/D비가 1이 되도록 爐내에 주입한 후 공기를 공급하였으며, 공기압축기, 제습기를 거친 후 안정된 공기를 공급하기 위해 설치된 정압기 4개를 6.0 kg/cm³, 4.5 kg/cm³, 3.0 kg/cm³, 2.5 kg/cm³으로 고정하고, 정압기 사이의 oil-정화기와 공기정화기를 통과시켜 공급하였다. 예열기에 연결된 열선을 온도



- 1. fluidized bed combustor
- 2. preheater
- 3. PID temperature
- 4. digital multi-thermometer
- 5. analyzer
- 6. valve
- 7. distributor
- 8. air-holder
- 9. cyclone
- 10. manometer
- 11. vibrating discharger
- 12. air compressor
- 13. regulator
- 14. air filter
- 15. flow-meter
- 16. screw feeder
- 17. hopper

Fig. 1. Experimental facilities.

조절기(PI-Controller)에 연결하여 고정온도(setting temperature)를 처음에는 250°C, 약 1시간 후에 350°C, 다시 약 30분 후에 480°C에 고정하여 bed내의 온도가 350°C 이상을 유지하도록 가열한 후 glove valve로 유동화 공기의 양을 조절하였다. In-bed의 온도가 350°C에 도달한 후 약 1시간이 지나면 목탄을 주입하여 유동층의 온도를 500°C 이상으로 하여 소량의 유연탄을 천천히 주입하였고, 유연탄에 의해 유동층내의 온도가 700°C 이상으로 증가하면 무연탄을 주입하여 유동층내의 온도를 900°C로 하여 조업하였다.

온도와 이산화탄소의 농도를 확인하여 유동층이 정상 상태에 도달하면 각 채취관으로 부터 시료가스를 채취하였고, 시료가스의 성분분석은 Combustion Analyzer (ENERAC 2000, USA)를 이용하여 분석하였으며, 비산 유출되는 입자상물질은 사이클론(cyclone)로 포집하였다.

2.4. 실험 조건

본 실험에서는 무연탄 혼합비와 공급 공기유량(유속)에 따라 실험을 수행하였으며, gas sampling position은 분산판으로부터 유동층 높이에 따라 선정하였고, 초기 층물질은 시료와 같은 1.68 mm 이하의 다입자 회분을 사용하였다. 이때 박[12]의 논문을 참고로 본 실험에서의 실험조건은 Table 4와 같이 무연탄혼합비는 0.1, 0.3, 0.5, L/D ratio를 1.0, 층온도는 800, 850, 900, 950°C, 주입공기유속은 0.2 m/s, 0.3 m/s, 0.4 m/s, 과잉공기는 10, 20, 30, 40%로 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 시료분석 결과

Fig. 2과 3은 무연탄과 유연탄을 열중량분석한 것으로서 무연탄은 약 500°C 정도에서 무게감량이 일어나기 시작하여 약 750°C에서 완전한 연소되어 무게감량이 완결되며, 유연탄은 약 300°C에서 무게감량이 시작되어 약 620°C에서 완결되는 것을 알 수 있다. 따라서 열중량분석을 기초로 하여 유연탄과 무연탄을 유동층 내로 주입할 때, 목탄으로 점화시킨 후 층내 온도가 약 500°C 정도가 되면 유연탄을 주입하고, 연소로 내의 온도가 약 700°C 이상이 되면 무연탄을 주입하여 층내 온도를 조업온도로 유지할 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 4은 본 실험에서 사용한 무연탄과 유연탄의 성분을 조사하기 위하여 XRD(X-Ray Differential) 분석한 결과로서, 그림과 표 3에서 알 수 있듯이 두 시료 모두 대부분 SiO₂와 Al₂O₃로 구성되어 비슷한 peak를 나타내

Table 4. Experimental Conditions

Operating variables	Conditions
Anthracite ratio	0.1, 0.3, 0.5
Gas velocity(m/s)	0.2, 0.3, 0.4
Excess air(%)	10, 20, 30, 40
Temperature(°C)	800, 850, 900, 950

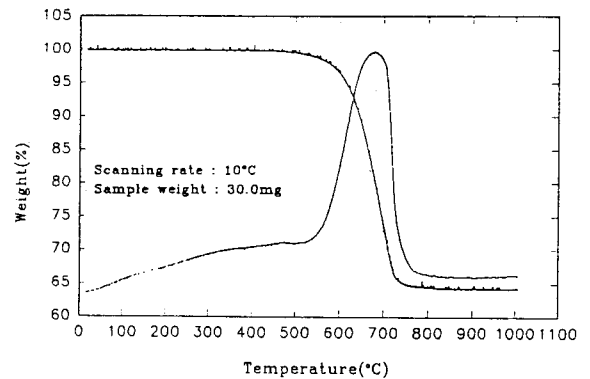


Fig. 2. TGA-DTA profile of anthracite.

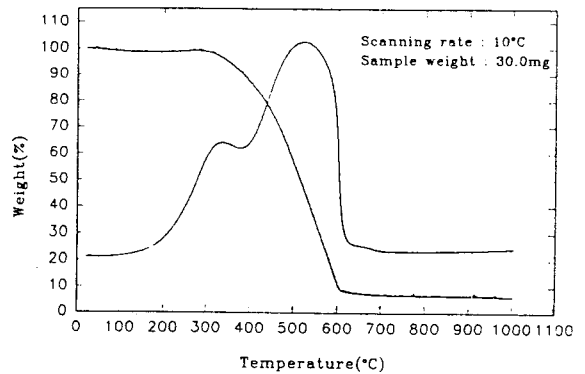


Fig. 3. TGA-DTA profile of bituminous.

는 것을 알 수 있다.

본 실험에서 사용한 무연탄과 유연탄의 혼합비에 따른 활성화에너지는 TG 데이터로부터 석탄연소시의 활성화에너지를 계산하였다. 즉 TG 데이터에 따른 아레니우스 플롯(Arrhenius plot)를 하면 확실한 선형구간이 나타나며 각 구간에서의 활성화에너지는 직선의 기울기로부터 구할 수 있다. 따라서 Fig. 5에 나타난 바와 같이 저질탄인 무연탄의 혼합비가 증가할수록 활성화에너지도 증가하여 결국, 유연탄을 연소시키는 것보다 발열량이 낮은 무연탄을 연소시키는 데 더 많은 에너지가 필요함을 보여준다.

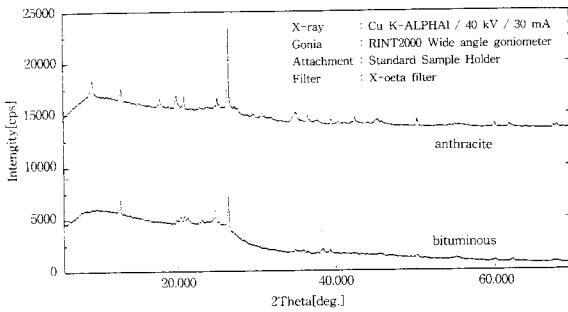


Fig. 4. X-Ray diffraction analysis of coals.

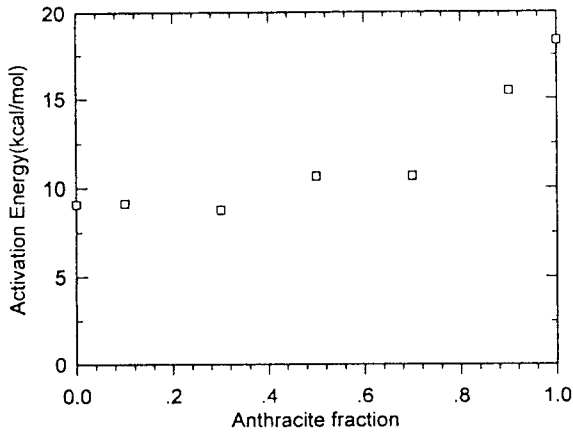


Fig. 5. Activation energy with anthracite fraction.

3.2. 무연탄비에 따른 NO_x, SO₂ 농도변화

무연탄비에 따른 NO_x의 농도를 유동층높이에 따라 나타낸 것이 Fig. 6이며, 그림에서 알 수 있듯이 층영역인 10 cm 지점에서는 NO_x 농도가 무연탄 혼합비에 관계없이 약 100 ppm 근처로 매우 낮게 나타났으며, 25 cm 지점에서 NO_x가 600~700 ppm까지 급격하게 증가함을 볼 수 있고, NO_x 농도는 연소로높이에 따라 차이가 크며 특히 무연탄혼합비에 관계없이 25 cm 지점이 35 cm 지점보다는 높은 농도를 나타내었다. 이것은 시료속의 C 성분 보다는 N 성분이 산소와 더 빨리 반응하여 연소영역 이하에서 NO_x가 많이 발생하기 때문이며, 연소로내의 NO_x농도는 큰차이가 없으나 무연탄혼합비 0.1일 때 가장 높은 것으로 나타났다. 이것은 원시료속의 N 성분 함량이 무연탄에서보다 유연탄에서 더 높고, 무연탄혼합비 0.1일때 연소상태가 가장 좋아 thermal NO_x량이 증가하기 때문이다. 연소영역에서 NO_x는 최대이고, 이후의 free-board영역에서 NO_x는 희석효과에 의해 점차 감소한다.

Fig. 7은 탈황실험에 앞서, 석탄입자에 첨가한 순수 황 성분이 아황산가스(SO₂) 배출과정에 미치는 영향을 조사하기 위하여 무연탄비에 따른 SO₂ 농도를 distributor로부터의 높이에 따라 나타낸 것으로서, 황가루를

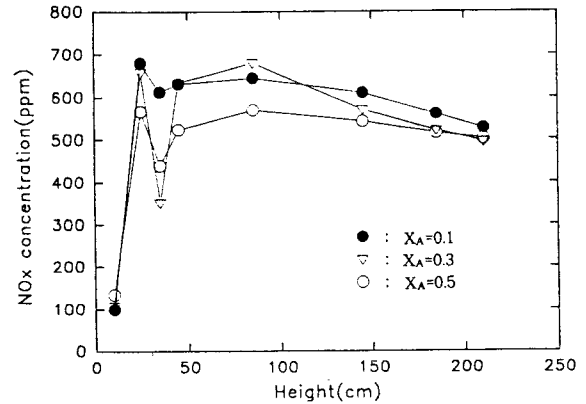


Fig. 6. NO_x concentration profile with anthracite fraction and combustor height ($m = 1.2$, $U_0 = 0.3$ m/s, Temp. = 900°C, L/D ratio = 1.0).

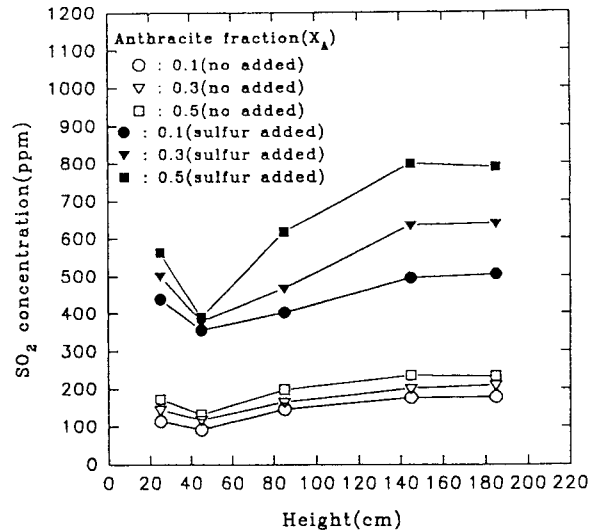


Fig. 7. SO₂ concentration profile with anthracite fraction and height ($m = 1.2$, $U_0 = 0.3$ m/s, Temp. = 900°C, L/D ratio = 1.0).

혼합하였을 경우와 혼합하지 않았을 경우를 비교하여 나타내었다. 황가루 첨가량은 무연탄비에 따라 원시료인 무연탄과 유연탄을 혼합할 경우 황 함량비를 기준으로 하여 같은 황 함량비가 되도록 고려하였으며, 무연탄비 0.5일 때 이론적으로 약 1000 ppm 정도의 SO₂가 발생되는 양을 기준으로 하였다. 그림에서 알 수 있듯이 황가루를 첨가한 경우와 첨가하지 않았을 경우를 비교하면, 아황산가스(SO₂)의 배출형태에는 영향을 거의 주지 않았으며, 배출농도만 증가시켰으므로 확실한 탈황효과를 확인하기 위하여 황가루를 혼합하여 실험하여도 큰 무리가 없을 것으로 판단된다[13]. 또한, 25 cm 지점에서

대체로 연소가 활발히 일어나 splash zone이 형성되고, 45 cm에서 농도가 감소하는 것은 25 cm 지점에서 splash zone이 형성되면서 기체가 급격히 팽창하므로 그 영향으로 희석되기 때문이며, 따라서 25 cm 지점에서의 SO₂ 농도가 45 cm 지점에서의 SO₂ 농도보다 더 높은 것을 알 수 있다. 그리고 미세입자가 프리보드(freeboard)영역으로 비산되면서 연소되므로 SO₂ 농도가 연소로 높이에 따라 증가하고, 무연탄비의 증가와 함께 SO₂ 농도가 증가하는 것은 원시료속의 황함량이 유연탄보다 무연탄이 더 높기 때문이다.

3.3. 무연탄비에 따른 비산유출

Fig. 8은 무연탄비에 따라 유출되는 미세입자를 사이클론(cyclone)에서 포집하여 체분석한 후 6개의 mesh별 particle size를 전체 100으로 볼 때 각 크기가 차지하는 중량분율로 나타낸 것이다. 여기서, 입자크기가 0.1 mm 이하의 미세입자를 보면 무연탄 혼합비가 0.3에서 약 80%를 차지하여 미세입자의 분율이 매우 높은 것으로 나타났다. 이것은 원시료 속의 무연탄비가 증가할수록 미세입자의 중량이 증가하지만 연소시 비산되는 flyash는 무연탄비가 0.3일 때는 0.2 mm 이하의 미세입자의 분율이 높고, 무연탄비가 0.1과 0.5일 경우에는 0.2 mm 이상의 굵은 입자의 분율이 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 이것은 무연탄비가 0.3일 때 연소되기 전 유속에 의해 날려 올라가는 미세입자 양이 많고, 무연탄혼합비 0.5일 때는 밀도가 큰 무연탄비가 증가하므로서 주입석탄이 무연탄혼합비 0.3일 때 보다 밀도로 떨어져, 오히려 위로 비산되어 올라가는 동안 미세입자가 combustion zone을 통과하면서 연소되며 무연탄혼합비 0.1일 때는 시료속의 미세입자의 분율이 낮아져 비산입자중의 미세입자분율도 감소하는 것으로 판단된다.

Fig. 9는 비산유출율과 가연성분비(유출가연성분/주입가연성분: 즉, 주입 가연성분에 대한 유출 가연성분비)를 무연탄비에 따라 나타낸 것으로서 무연탄비가 0.1일 때 보다는 0.3, 0.5로 증가할수록 비산유출율은 증가하는 것으로 나타났으며, 이것은 무연탄 혼합비가 증가할수록 무연탄 속에 함유되어 있던 미세입자의 유출 절대량이 증가하고, 낮은 무연탄비에 대해 높은 무연탄비의 경우가 상대적으로 입자유출량이 훨씬 많기 때문으로 판단된다[12, 14] 또한 주입가연성분에 대한 유출가연성분의 비도 무연탄혼합비가 0.5일 때 가장 높게 나타나는 것을 알 수 있는데, 이는 주입 가연성분과 공기비를 일정하게 주입하였으나 무연탄비 증가에 따라 유출량의 절대치가 증가하므로 가연성분 유출비는 무연탄혼합비에 따라 증

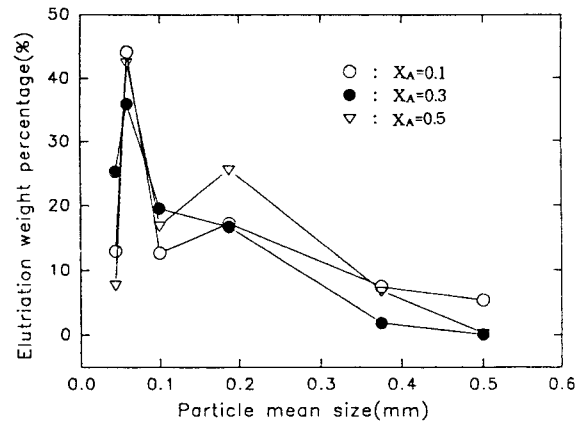


Fig. 8. The weight percentage of elutriation with particle size and anthracite fraction ($m = 1.2$, $U_0 = 0.3$ m/s, Temp. = 900°C, L/D ratio = 1.0).

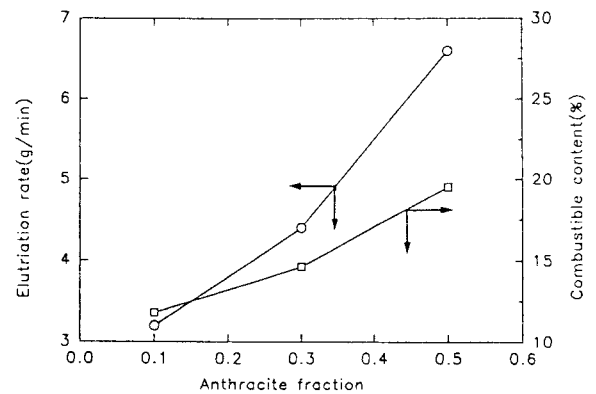


Fig. 9. Elutriation rate and unburned combustible contents with anthracite fraction ($m = 1.2$, $U_0 = 0.3$ m/s, Temp. = 900°C, L/D ratio = 1.0).

가하기 때문이다.

3.4. 연소효율

Fig. 10은 무연탄비, 주입공기유속, 과잉공기, 층온도에 따른 연소효율을 나타낸 그림이다. 연소효율에 영향을 주는 것은 입자의 비산유출이며 불완전연소로 인한 CO 농도와 층유출에 의한 가연분 손실은 거의 없으므로 가연분 비산량이 큰 조건에서 연소효율이 나빠진다. 그림에서 알 수 있듯이 무연탄비가 증가할수록, 공기유속이 감소할수록, 과잉공기가 증가할수록, 층온도가 증가할수록 연소효율이 증가하는 것으로 나타났으며, 무연탄비, 공기유속, 과잉공기, 층온도 중 효율에 가장 큰 영향을 주는 것은 공기유속이며 무연탄비도 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 주입공기유속과 무연탄비가

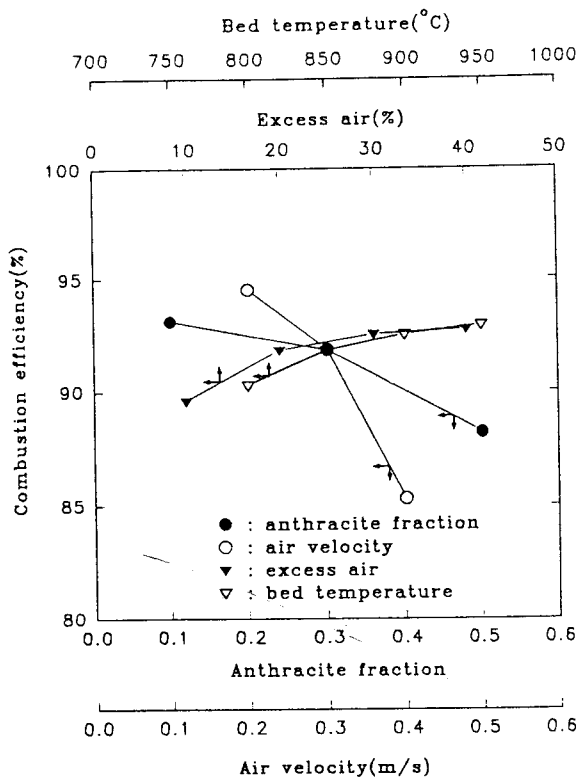


Fig. 10. Combustion efficiency of coals with anthracite fraction, air velocity, excess air and bed temperature.

증가할 경우 비산되는 미세입자의 절대량이 증가하며, 따라서 가연성분량도 증가하기 때문이다. 결국 일정범위 내에서는 층온도가 높을수록, 유속이 낮을수록, 과잉공기가 많을수록 연소효율이 높지만 소결현상 등의 조업상 어려움과 연소로의 정상상태 도달 및 경제성을 고려할 때 층온도 850°C, 0.3 m/s, 과잉공기 20%의 조건이 적절하다고 판단된다.

4. 결 론

유동층연소로내에서의 유,무연탄 혼합연소는 무연탄만의 연소에 비해 연소 후 회재의 방출량을 줄일 수 있고 연소효율을 높일 수 있으므로, 연소발열량을 고려하여 적절히 혼합연소시키면 국내산 저질 무연탄을 활용할 수 있다. 무연탄 활용에 앞서 유동층연소로에서 유,무연탄 혼합연소시 대기오염물질 생성과 연소효율에 관해 조사한 본 실험으로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 가스상물질의 생성특성으로 보아 연소영역(splash zone)은 주로 분산판으로부터 상부 25 cm~35 cm 지점에서 나타났으며, 무연탄비 증가에 따라 SO₂ 농도는 증가

하였고, 황가루 혼합 유,무에 관계없이 SO₂ 농도 경향은 일정하게 나타났다. 또한 무연탄 혼합비가 증가할수록 NO_x의 배출농도는 약간 감소하였으며, 무연탄비에 따라서 다른 연소특성으로 인하여 연소로내의 NO_x 농도는 다르게 나타났다.

2) 무연탄비가 증가할수록 유출량이 증가하였고 주입 가연성분에 대한 유출가연성분비도 증가하였으며, 비산 유출입자 중 미연분 함량은 미세입자가 높은 것으로 조사되었다.

3) 일정범위내에서 유속이 증가할수록 연소효율은 감소하였고, 층온도와 과잉공기비가 증가할수록 증가하였으며, 850°C 이상의 층온도와 과잉공기 20% 이상에서 연소효율에 차이가 작은 것으로 나타났으므로 최적 연소조건은 유속 0.3 m/s, 층온도 850°C, 과잉공기 20%였으며, 연소로의 정상상태 도달과 발열량을 고려하여 유연탄과 무연탄을 적절히 혼합연소시키면 국내산 무연탄을 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 김재범, 홍성창, 오광중, 도동섭, 대한환경공학회지, 12, 71 (1990).
- 朴珍浩, Ph.D Thesis, 고려대학교 화학공학과 (1982).
- 한국에너지기술연구소, KIER-941129 "청정 석탄 활용 기술 개발" (1994).
- Pack J. H., Choi C. S. and Kang W. K., *PACHEC*, 3, 223 (1983).
- 홍성창, Ph.D Thesis, 고려대학교 화학공학과 (1990).
- 장현태, Ph.D Thesis, 고려대학교 화학공학과 (1995).
- P. Alvfors and G. Svedberg, *Chemical Engineering Science*, 43, 1183 (1988).
- P. J. Anderson and P. L. Morgan, *Trans. Faraday Soc.*, 60, 930 (1964).
- P. J. Anderson, R. F. Horlock and R. G. Avery, *Proc. Br. Ceram. Soc.*, 3, 33 (1965).
- R. H. Borgwardt, *A.I.Ch.E. J.*, 31, 103 (1985).
- R. H. Borgwardt, *Ind. Engng. Chem. Res.*, 28, 93 (1989).
- 박태성, 석사학위논문, 고려대학교 화학공학과 (1993).
- 장현태, 석사학위 논문, 고려대학교 화학공학과 (1991).
- 차왕석, Ph. Thesis, 고려대학교 화학공학과 (1993).
- 張正國, Ph. Thesis, 부산수산대학교 환경공학과 (1995).
- Fan, L. T., Ho, T. C., Hiraoka, S. and Walawonder, W. P., *AICHE J.*, 27, 388 (1981).
- Dale L. Keairns, *Fluidization Technology*, McGRAW-Hill, III, 340 (1976).