

유동층 연소로에서 유·무연탄 혼합 연소법을 이용한 국내산 저질 무연탄의 활용에 관한 연구

정 종 현·조 상 원^{*}·손 병 현^{**}·전 영 화^{***}·오 광 중^{***}
경주전문대학 환경공업과·창원기능대학 환경기술학과
^{*}한서대학교 환경과학과·^{**}부산대학교 환경공학과
(1996년 10월 23일 접수)

A Study on the Use of Low-Grade Domestic Anthracite by Anthracite - Bituminous Coal Blend Combustion in a Fluidized Bed Combustor

Jong-Hyeon Jung, Sang-Won Cho^{*}, Byung-Hyun Shon^{**},
Young-Hwa Jeon^{***}, and Kwang-Joong Oh^{***}

Dept. of Environmental Industry, Kyong-Ju Junior College, Kyong-Ju
^{*}*Dept. of Environmental Technology, Changwon Polytechnic College, Changwon*
^{**}*Dept. of Environmental Science, Hanseo Univ., Seosan*
^{***}*Dept. of Environmental Engineering, Pusan National Univ., Pusan*
(Manuscript received 23 October 1996)

It has been studied that combustion and the production of air pollution of anthracite - bituminous coal blend in a fluidized bed coal combustor. The objects of this study were to investigate mixing characteristics of the particles as well as the combustibility of the low grade domestic anthracite coal and imported high calorific bituminous coal in the fluidized bed coal combustor. They were used as coal samples ; the domestic low grade anthracite coal with heating value of 2,010kcal/kg and the imported high grade bituminous coal with heating value of 6,520kcal/kg. Also, the effects of air flow rate and anthracite fraction on the reaching time of steady state condition have been studied. The experimental results are presented as follows. The time of reaching to steady state was affected by the temperature variation. The steady state time was about 120 minute at 300scfh which was the fastest. It has been found that O₂ and CO₂ concentration were reached steady state at about 100 minute. It has been found that O₂ concentration decreased and CO₂ concentration increased as the height of fluidized bed increased. It was found that splash zone was mainly located from 25cm to 35cm above distributor. Also, as anthracite fraction increased, the mass of elutriation particles increased, and CO₂ concentration decreased. As air flow rate increased, O₂ concentration decreased and CO₂ concentration increased. Regardless of anthracite fraction and flow rate, the uncombustible weight percentage according to average diameter of elutriation particles were approximately high in the case of fine particles. As anthracite fraction and air flow rate in-

creased, elutriation ratio increased. As anthracite fraction was increased, exit combustible content over feeding combustible content was increased. Regardless of anthracite fraction, size distribution of bed material from discharge was almost constant. 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 0.3m/s, bed temperature 850℃, the excess air 20%.

Key words : Anthracite, bituminous, bed temperature, coal blend, excess air, combustion efficiency, elutriation

1. 서 론

석탄은 환경오염 방지측면에서 상대적으로 열세에 있는 화석연료임에는 틀림없으나 세계적으로 가장 널리 그리고 방대한 규모로 매장되어 있으므로 지구온난화 문제 등 전 세계적인 환경논의가 활발해짐에도 불구하고 그 사용량이 점차 증가하는 추세이다. 국내에서도 석탄의 사용량은 계속적으로 증가해 왔으며 특히 발전용연료로서 유연탄의 경우 1993년 말 현재 전력생산량의 19% 정도를 담당하고 있지만 2000년 이후까지 유연탄화력발전소가 대거 건설될 예정으로 있어 2006년에 이르러서는 총 전력 생산량의 30%정도를 담당하게 되어 유연탄 사용량은 현재보다 4배 가까이 증가될 것으로 예상되고 있으며, 그에 따라 유연탄회의 발생량 또한 4배 정도 증가되리라 예상된다. 그러나 이와 같은 예측은 전력소비량이 예상보다 훨씬 빨리 증가하고 있으므로 수정이 불가피해지고 있으며 그에 따라 유연탄 소비량도 더욱 증가될 것으로 예측되고 있다. 현재 국내 석탄의 대부분은 고회분 무연탄으로서 이중 총매장량의 34.3%에 달하는 대량의 석탄이 발열량 400kcal/kg 이하의 저질탄으로 알려져 있으며, 또 해마다 채굴량의 10-20% 정도가 산지에 방치됨으로써 탄광 지역사회의 환경공해 문제를 일으키고 있고, 수입 유연탄의 급증과 국내 무연탄의 수요감소로 인한 폐광의 증가는 국가 에너지원의 낭비를 초래하고 있다. 특히 국내 무연탄의 산업적인 소비는 거의 없으며 가정용 석탄의 소비 감소로 인하여 국내 무연탄의 사용이 계속 감소되고 있어 새로운 무연탄 사용 연구가 시급하다 하겠다. 그러나 현재 국내 무연탄만의 연소

는 고회분으로 인하여 그 경제성에 문제가 있으므로, 기존의 유연탄과 함께 연소시키면 회분량도 무연탄만 연소시킬때 보다는 상대적으로 적을 것이고, 유연탄의 수입 대체효과도 가져오며, 광산의 보호 및 국가 자원 개발의 효율적 이용 측면에서 매우 중요하다고 하겠다.

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 왔다. 또한 기-고 접촉면적을 증가시키고 연소로내에서 난류를 발생시켜 연소효율을 증가시킬 수 있고 기-고 접촉효과가 뛰어나므로 열전달계수가 높다. 또한 소결현상 방지도 효과가 크며, 장치내의 fouling이 적고, 미분탄 연소에 비해 석탄입자의 입도가 작으므로 석탄의 분쇄에 소요되는 경비를 절감할 수 있으며, 비산입자의 방출(initial particulate emission)방지도 용이하다. 이러한 석탄 유동층연소로의 조업시 입자상물질과 질소산화물, 황산화물, 이산화탄소등이 발생되는데, 질소산화물은 800-1000℃의 비교적 낮은 조업온도를 갖는 유동층에서 그 생성이 억제되지만 제어가 필요한 실정이고, 이산화탄소는 아직 규제대상이 아니지만 Green round를 시작으로 곧 그 규제가 시작될 전망이다. 또한 산성비와 토양의 산성화등 심각한 오염을 야기시키고 있는 황산화물의 배출을 억제하기 위해서는 특별한 장치나 방법이 필요하며, 이러한 대기오염물의 제어를 위해서는 연소특성을 조사하여 대기오염물의 생성 및 배출특성에 대한 연구가 선행되어야 한다.

Table 1. Proximate analysis and ultimate analysis of coals(wt.%, dry basis)

| sort term | | Anthracite | Bituminous |
|--------------------|--------------------------|-----------------|------------|
| | | Moisture (wt.%) | 1.80 |
| Proximate analysis | Volatile matter(wt.%) | 6.48 | 27.38 |
| | Ash(wt.%) | 64.75 | 8.38 |
| | Fixed carbon (wt.%) | 26.97 | 54.19 |
| | Calorific value(kcal/kg) | 2.010 | 6.520 |
| | Ultimate analysis | C | 30.0 |
| H | | 0.71 | 4.30 |
| O | | 4.24 | 11.70 |
| N | | 0.34 | 0.36 |
| S | | 0.31 | 0.21 |

Table 2. Analysis of coal ash(wt.%)

| 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 |

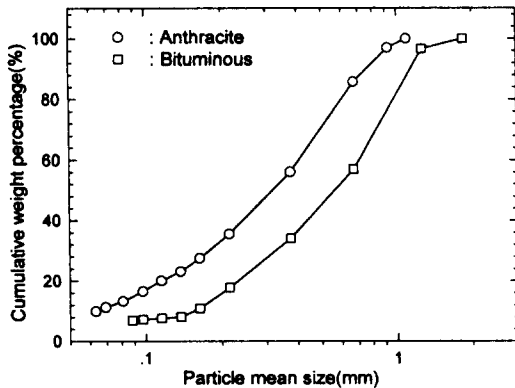


Fig. 1. Cumulative weight percentage of anthracite and bituminous.

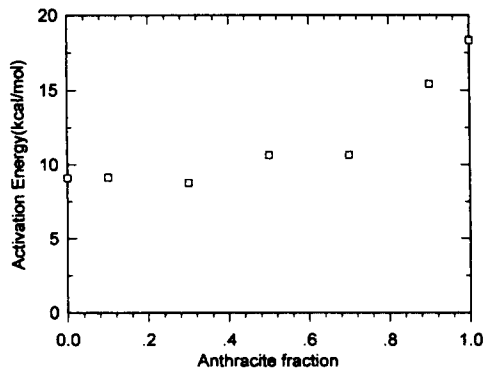


Fig. 2. Activation energy with anthracite fraction.

따라서 본 연구는 유동층연소로에서 고회분, 저열량인 무연탄과 저회분, 고열량인 유연탄의

혼합연소시 정상상태 도달시간을 조사하였으며, 무연탄비에 따른 미세입자의 비산유출율과 가스상물질의 농도 변화 및 무연탄 혼합비, 주입공기 유량, 과잉공기비, 층온도에 따른 연소 효율을 조사하여 국내산 저질 무연탄의 활용가능성을 알아보았다.

2. 실험장치 및 실험방법

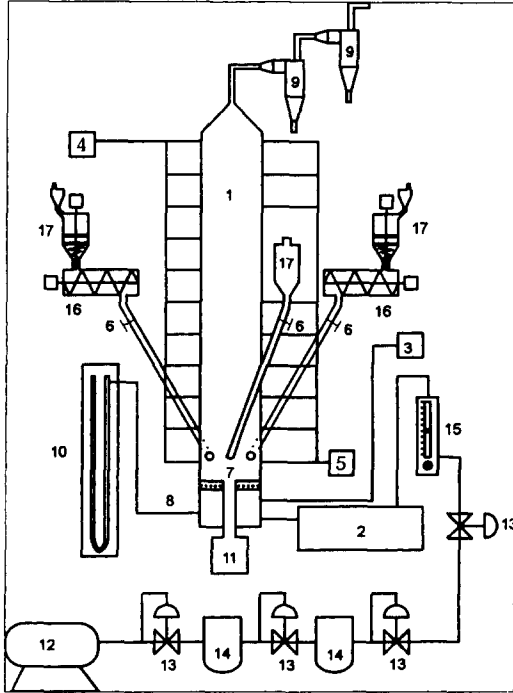
2.1 시 료

본 실험에서 사용한 시료의 입도분포는 Fig. 1에 나타내었으며, 그림에/#서 알 수 있듯이 같은 중량%에서 무연탄에는 미세입자의 분율이 높고, 유연탄에는 무연탄에 비해 굵은 입자의 분율이 높은 것으로 나타났다. 시료로 사용한 무연탄 입자는 입경이 1.00mm이하이며, 유연탄 입자는 입경이 1.68mm이하인 다입자이다. 따라서 무연탄 입자가 유연탄보다 미세입자의 분율이 높은 것을 알 수 있다. 실험에서 사용한 무연탄과 유연탄의 혼합비에 따른 활성화에너지는 Fig. 2에 나타난 바와 같이 저질탄인 무연탄의 혼합비가 증가할수록 활성화에너지도 증가하여 결국, 유연탄을 연소시키는 것보다 발열량이 낮은 무연탄을 연소시키는 데 더 많은 에너지가 필요함을 보여준다.

본 실험에서 사용한 무연탄은 충북 부령産으로서 고회분, 저발열량이며, 유연탄은 호주산으로 저회분, 고열량 석탄이다. 시료는 Roller mill로 분쇄하여 무연탄은 1.00mm, 유연탄은

Table 3. Experimental conditions

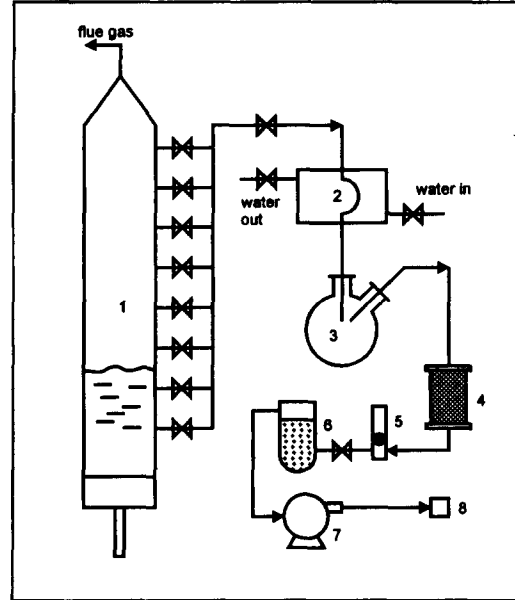
| Operation variables | Operation range |
|--------------------------|--------------------|
| Anthracite fraction (Xa) | 0.1, 0.3, 0.5 |
| Air flow rate (scfh) | 200, 250, 300, 350 |
| Bed temperature (°C) | 800, 850, 900, 950 |
| Excess air (%) | 10, 20, 30, 40 |



1. Fluidized bed combustor
2. Preheater
3. PID temperature
4. Digital multirrhmerometer
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. 3. Experimental facilities and data processing system at high temperature.

1.68mm의 U.S Tyler 표준체를 이용하여 분류하였다. 먼저 원시료를 1차로 체분석을 수행하였고, 체에 걸러지지 않은 시료는 Roller mill로 분쇄 후, 다시 2, 3차로 체분석을 시행하였다. 1차, 2차, 3차로 분류된 시료는 상대적으로 안정된 상태를 유지하기 위하여 충분히 혼합하였으며, 잘 건조시킨 공기와 접촉되지 않도록 플라스틱 용기에 담아 보관하였다.



1. Combustor
 2. Cooling bath
 3. Water condenser
 4. Filter
 5. Flow meter
 6. Dryer
 7. Suction pump
 8. Gas analyzer
- Fig. 4. Flue gas analysis system.

이들 시료에 대한 공업분석치와 원소분석치는 Table 1에 나타내었는데 회분의 성분분석은 Table 2에 나타내었다. 원소분석을 이용하여 발열량을 계산하면 무연탄은 2,010kcal/kg로 매우 낮고, 유연탄은 6,520kcal/kg이 된다. 휘발분과 고정탄소를 합한 가연분은 무연탄이 33.45%이며, 유연탄이 84.57%로 유연탄이 무연탄 보다 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 SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 등이다.

2.2 실험장치

유동층 연소로는 내경 0.067m, 높이 약 2m이며 부식을 방지하기 위하여 실린더형의 Stainless steel관으로 제작하였으며, 실험에

사용한 실험장치는 Fig. 3과 같다. 가스 분산판에는 주입공기의 고른 공급을 유도하기 위해 유동층과 같은 재질의 pore size 1.0 mm I.D., hole 334개를 내었고, 개공비는 1.51%이다. 유동화 공기의 공급을 위하여 5Hp의 공기압축기, 공기정화기(SMC-AF-400), 4개의 정압기(SMC-AR-400, 정압범위 0-10Kgf/cm), oil 정화기(SMC-AL-400)를 사용하였으며, 유동화 공기량을 조절하기 위해 glove valve와 유량계(Gilmont Co. No.-15)를 설치하였다. 연소로내로 시료를 주입하기 위하여 가스 분산판 상부 0.2m 지점에 각각 목탄과 무연탄 및 유연탄 주입관을 설치하였으며, 회분은 연소로 하부에 설치된 진동배출기를 사용하여 배출관을 통해 배출시켰다.

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

유동층 연소로에 Chromel-alumina type의 열전대를 층의 높이에 따라 11개를 설치하여 유동층내의 온도를 측정하였고, 정상적인 유동화 상태를 확인하고, 유동층내의 충전물의 양을 측정하기 위하여 air holder에 manometer를 설치하였다. 그리고 연소로 단열 보온을 위하여 Kawool을 연소로 외부에 감았으며, 연소로내의 가스채취를 위하여 가스분산판으로부터 0.010m 지점의 in-bed zone과 약 0.025m, 0.35m 지점의 splash zone, free-board zone에 4개의 배출구등 모두 8개의 채취관을 설치하였다. 채취관은 직경 0.0064m의 원통형 Stainless steel관이며 연소로와 수직으로 장치하였고, 채취관내에 100mesh Stainless steel망을 이중으로 설치하여 유동층로내의 입자상물질이 유출되는 것을 방지하였다.

Fig 4는 배기가스 분석시스템으로서 유동층 내부의 연소 배가스의 농도를 측정하기 위하여 cooling bath와 condencer를 통과하도록

하였고, 분석기에 미치는 분진의 영향을 최소화하기 위하여 Filter를 거쳐 흡인펌프를 통해 분석기로 배가스가 유입되도록 하였다.

2.3 실험방법

공기압축기, 제습기를 거친 후 안정된 공기를 공급하기 위해 설치된 정압기 4개를 6.0kg/cm³, 4.5kg/cm³, 3.0kg/cm³, 2.5kg/cm³으로 고정하고, 정압기 사이의 oil-정화기와 공기정화기를 통과시켜 공급하였으며, 층물질로써 多입자 회분을 L/D 비가 1이 되도록 爐내에 주입한 후 공기를 공급하였다. 예열기에 연결된 열선을 PI-Controller에 연결하여 setting temperature를 처음에는 250, 약 1시간 후에 350, 다시 약 30분 후에 480에 고정하여 bed 내의 온도가 350 이상을 유지하도록 가열한 후 glove valve로 유동화 공기의 양을 조절하였다. In-bed의 온도가 350에 도달한 후 약 1시간이 지나면 목탄을 주입하여 유동층의 온도를 500 이상으로 하여 소량의 유연탄을 천천히 주입하였고, 유연탄에 의해 유동층내의 온도가 700 이상으로 증가하면 무연탄을 주입하여 유동층내의 온도를 900로 하여 조업하였다.

온도와 이산화탄소의 농도를 확인하여 유동층이 정상상태에 도달하면 각 채취관으로 부터 시료가스를 채취하였고, 시료가스의 성분분석은 Combustion Analyzer(ENERAC 2000, USA)를 이용하여 분석하였으며, 분석의 정확도를 높이기 위해 1000ppm SO₂ Span gas로서 calibration하였다. 또한 비산유출되는 입자상물질은 Cyclone으로 포집하였다.

2.4 실험 조건

본 실험에서는 Gas Sampling position은 분산판으로부터의 높이를 0.10m, 0.25m, 0.35m, 0.45m, 0.85m, 1.45m, 1.85m, 2.10m로 선정하였고, 유,무연탄 비와 공급 공기 유량(유속)에 따라 실험을 수행하였으며, 초기 층물질은 시료와 같은 1.68mm 이하의 다입자 회분을 사용하였다. Bed Temperature는 800, 850, 900, 950, Aspect ratio(L/D)는 1.0, Excess air는 10-40%로 하였다. 본 실험의 실험 변수는 Table 3과 같다.

3. 결과 및 고찰

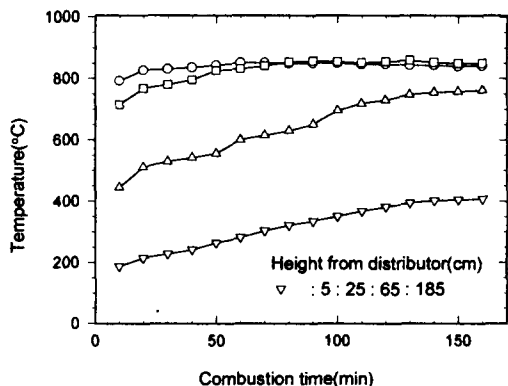


Fig. 5. The variation of temperature with combustion time. ($m=1.2$, $X_a=0.5$, $L/D=1.0$, $Q=300\text{scfh}$)

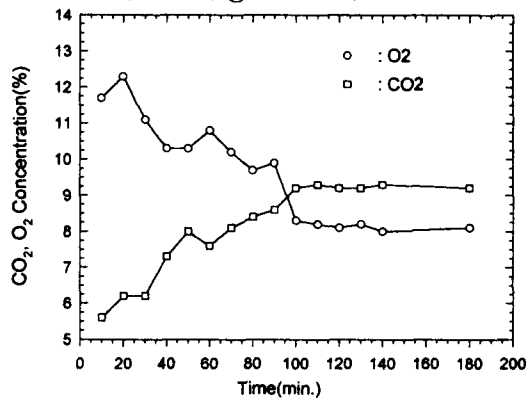


Fig. 6. CO₂ and O₂ concentration profile with time. ($m=1.2$, $X_a=0.3$, Temp.=900°C, $L/D=1.0$, $Q=300\text{scfh}$)

3.1 유동층 연소로에서 정상상태 도달 3.1.1 시간에 따른 온도변화

Fig. 5는 주입공기유량이 300scfh일때 유동층 연소로의 높이에 따라 설치된 열전대에 의해 11개 지점중 분산판으로부터 5cm 지점의 in-bed 영역, 25cm 지점의 splash 영역, 65cm와 185cm 지점의 freeboard 영역, 210cm 지점의 배출구 등 5지점에 대하여 시간의 경과에 따른 연소로내의 정상상태를 확인하기 위해 온도변화를 나타낸 그림이다. 조업시작 후 120분 근처에서부터 증가폭이 매우 작아지면서 정상상태에 도달하고 있으며, 이는 차의 결과 보다 약 10~20분 정도 더 긴 시간이다. 본 논문에서 유량 200scfh, 400scfh의 경우에 대해 온도 profile을 나타내지 않았지만, 실험결과 유량 200scfh의 경우

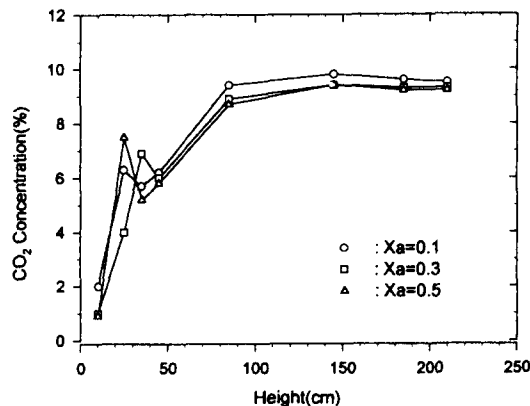


Fig. 7. CO₂ concentration profile with anthracite fraction and height. ($m=1.2$, Temp.=900°C, $L/D=1.0$, $Q=300\text{scfh}$)

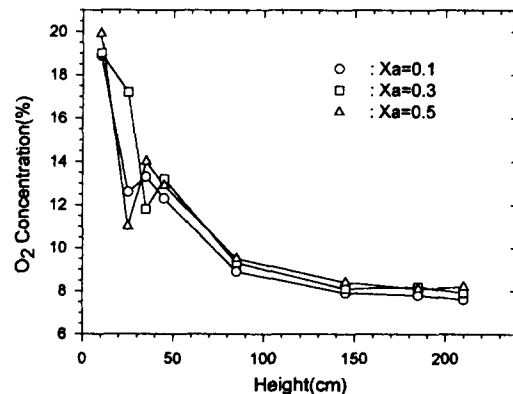


Fig. 8. O₂ concentration profile with anthracite fraction and height. ($m=1.2$, Temp.=900°C, $L/D=1.0$, $Q=300\text{scfh}$)

약 200분 이상이 소요되었으며, 400scfh의 경우 약 160분정도 경과 후 정상상태에 도달하는 것으로 나타나 유량 300scfh로 조절할 경우 유동층연소로의 정상상태 도달시간이 가장 빠른 것으로 나타났다. 그것은 낮은 유량인 200scfh의 경우 연소로의 상부온도 증가율이 느리기 때문이며, 너무높은 유량인 400scfh의 경우 많은 양의 주입공기로 인하여 안정온도에 도달하는데 오랜 시간을 요하기 때문이다.

3.1.2 시간에 따른 CO₂, O₂ 농도변화

주입공기의 유량이 300scfh일때 O₂와 CO₂ 농도를 연소로 조업후의 시간의 경과에 따라

나타낸 것이 Fig. 6이며, 이 그림으로부터 O_2 와 CO_2 농도를 비교하여 연소로 내부의 정상 상태 도달시간을 알아 볼 수 있다. O_2 와 CO_2 는 약 100분이 지나면서 steady state에 도달하는 것으로 보인다. 이때 Fig. 5와 Fig. 6을 비교하면 온도는 약 2시간 후에, O_2 와 CO_2 는 약 100분 후에 각각 steady state에 도달하므로 유동층 연소로내의 온도보다는 O_2 와 CO_2 가스 농도가 조금 빨리 정상상태에 도달하는 것을 알 수 있다.

3.2 CO_2 , O_2 농도변화

Fig. 7은 공기유량 300scfh일때 무연탄비에 따른 CO_2 농도를 분산판으로부터 높이에 따라 나타낸 것이다. distributor로부터 높이가 상승함에 따라 CO_2 농도는 점차 증가하는 것으로 나타났으나, 무연탄비가 0.1과 0.5에서는 분산판으로부터 25cm 지점이 35cm 지점보다 CO_2 농도가 높게 나타나는 것으로 보아 splash영역인 25cm 지점에서 연소가 더욱 활발히 일어남을 알 수 있다. 또한, 무연탄비가 0.3인 경우에는 분산판으로부터 25cm보다 35cm 지점의 CO_2 농도가 더 높게 나타나는 것으로 보아 35cm 근처 지점이 연소영역인 것을 알 수 있으며, 이것은 유, 무연탄비 0.1과 0.5에 비해 입자의 분급현상이 유, 무연탄비 0.3에서 가장 뚜렷함을 예측할 수 있다. free-board영역 및 배출구에서 큰 차이는 없으나, 무연탄비가 증가할수록 CO_2 농도가 감소하므로 무연탄비가 증가할수록 불완전 연소정도가 커짐을 알 수 있다.

Fig. 8은 공기유량 300scfh일때 무연탄비에 따른 O_2 농도를 높이에 따라 나타낸 그림이며, 측정결과 유동층 연소로의 높이가 증가함에 따라 O_2 농도는 감소하는 경향을 나타내었다. 특히, 무연탄비가 0.1, 0.5인 경우에는 25cm 근처에서 산소가 급격히 감소하는 것으로 보아 이 부근에서 연소영역이 형성되는 것을 알 수 있으며, 무연탄비가 0.3인 경우에는 CO_2 와 마찬가지로 35cm 근처가 연소영역인 것으로 볼 수 있고, 무연탄비에 따른 O_2 의 농도는 85cm 지점 이후로는 별로 큰 차이가 없으나, 무연탄비가 0.1일때 가장 낮은 농도를 나타내는 것을 알 수 있다. 이것을 Fig. 7의 CO_2 농도와 연관시켜 이해하면 연소가 활발할 때 CO

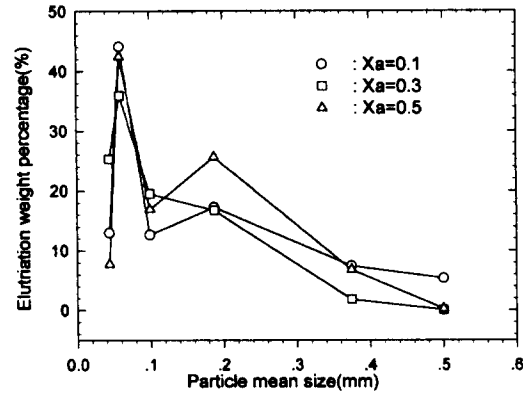


Fig. 9. The weight percentage of elutriation with particle size and anthracite fraction. ($m=1.2$, Temp.=900°C, $L/D=1.0$, $Q=300scfh$)

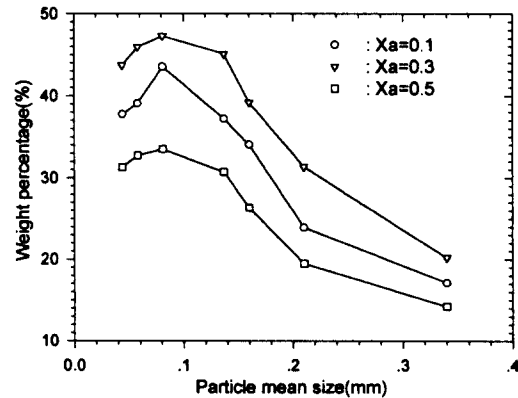


Fig. 10. Uncombusted carbon percentage of elutriated particles with anthracite fraction. ($m=1.2$, Temp.=900°C, $L/D=1.0$, $Q=300scfh$)

2 의 농도는 증가하고 O_2 농도는 감소하며, 연소가 활발하지 못하면 그 반대현상이 발생한다.

3.3 비산유출입자의 유출율, 입도분포, 미연분 함량

Fig. 9는 무연탄비에 따라 유출되는 미세입자를 cyclone에서 포집하여 체분석한 후 6개의 mesh별 particle size를 전체 100으로 볼 때 각 크기가 차지하는 중량분율로 나타낸 것이다. 여기서, 입자크기가 0.1mm 이하의 미세입자를 보면 A/B가 0.3에서 약 80%를 차지하여 미세입자의 분율이 매우 높은 것으로 나타났다.

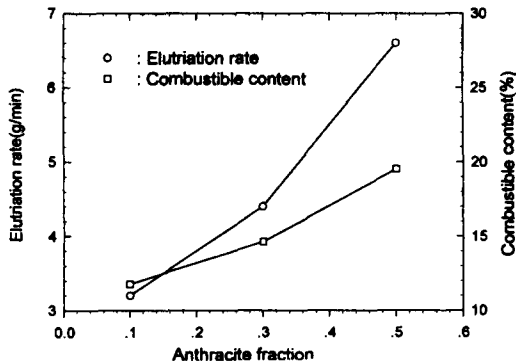


Fig. 11. Elutriation rate and unburned combustible contents with anthracite fraction at constant

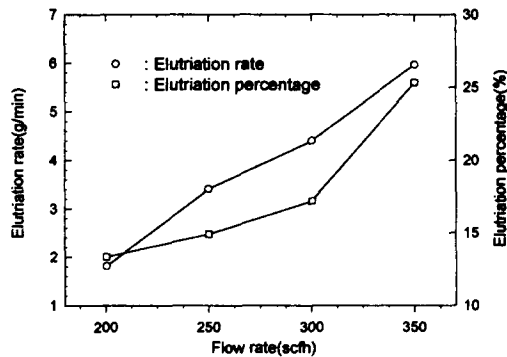


Fig. 12. Elutriation rate and percentage with air flow rate. ($m=1.2$, Temp. = 900°C , $X_a=0.3$, $L/D=1.0$)

Fig. 10은 무연탄비에 따른 비산유출입자의 미연분 함량을 평균입자 크기에 따라 중량%로 나타낸 것으로서, 그림에서 알 수 있듯이 미세 입자일수록 대체로 미연분 함량이 증가하지만, $800\mu\text{m}$ 입경에서 최대값을 보이며, 무연탄비 0.3일때 미연분 함량이 가장 높은 것으로 나타났다. 그것은 $800\mu\text{m}$ 입경에서 미세입자중 무연탄비가 가장 낮고, 무연탄비 0.3일때 분리 현상이 뚜렷하여 미세입자의 비산유출이 증가하기 때문이다.

Fig. 11은 비산유출율과 가연성분비(유출가연성분/주입가연성분)를 무연탄비에 따라 나타낸 것으로서 무연탄비가 0.1일때보다는 0.3, 0.5로 증가할수록 비산율은 증가하는 것으로 나타났다. 주입가연성분에 대한 유출가연성분의 비도 무연탄비가 0.5일때 가장 높게 나타나는 것을 알 수 있는데, 이것은 입자유출

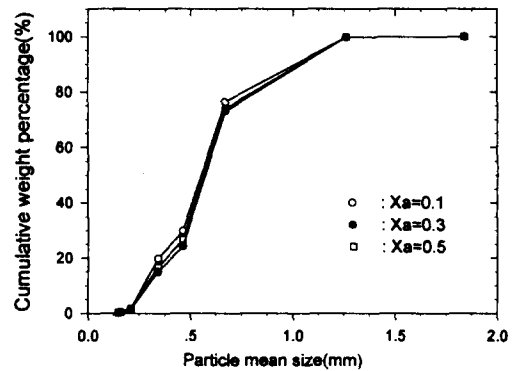


Fig. 13. Size distribution of bed drain particles with anthracite fraction. ($m=1.2$, Temp. = 900°C , $Q=300\text{scfh}$, $L/D=1.0$)

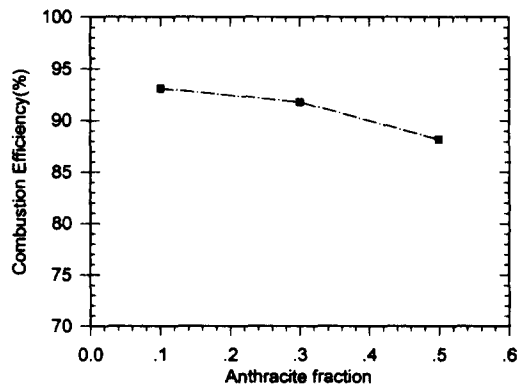


Fig. 14. Combustible efficiency profile according to anthracite fraction. ($m=1.2$, Temp. = 900°C , $Q=300\text{scfh}$, $L/D=1.0$)

이 상대적으로 많기 때문으로 판단된다.

Fig 12는 비산율과 가연성분비(유출가연성분/주입가연성분)를 air flow rate에 따라 나타낸 것으로서 air flow rate이 증가할수록 비산입자의 비산율은 증가하는 것으로 나타났다. 유량에 따른 주입가연성분에 대한 유출가연성분비 역시 증가할수록 대체로 증가함을 보여주고 있으나 유량 200scfh, 250scfh, 300scfh일 때의 주입가연성분에 대한 유출가연성분비의 백분율이 비슷하고 350scfh에서는 큰 차이가 있는 것으로 나타났다. 따라서 정상상태 도달 시간과 비산입자의 유출에 따른 연소효율을 고려하면 유량 300scfh가 적합한 것으로 나타났다.

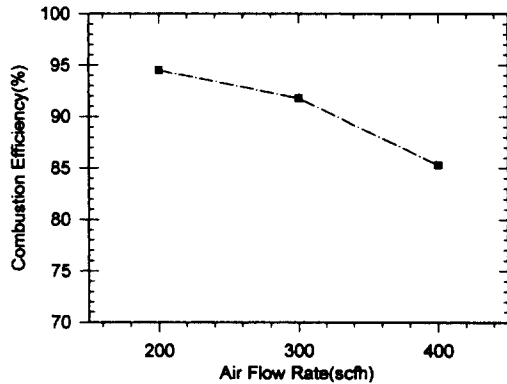


Fig. 15. Combustible efficiency profile according to air flow rate. ($m=1.2$, Temp.= 900°C , $L/D=1.0$, $X_a=0.3$)

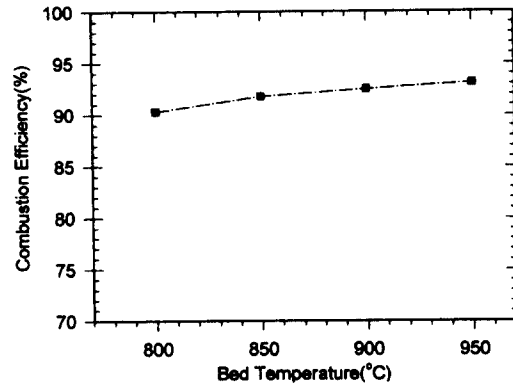


Fig. 17. Combustible efficiency profile according to bed temperature. ($m=1.2$, $L/D=1.0$, $X_a=0.3$, $Q=300\text{scfh}$)

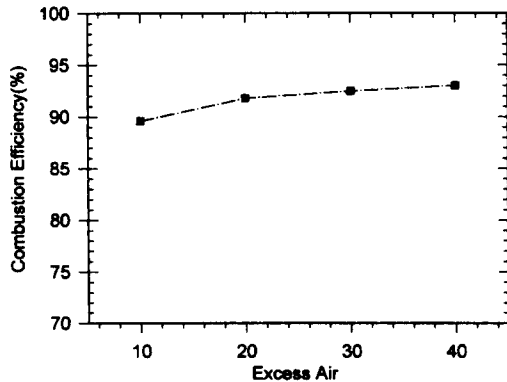


Fig. 16. Combustible efficiency profile according to excess air. (Temp.= 900°C , $L/D=1.0$, $X_a=0.3$, $Q=300\text{scfh}$)

3.4 층유출입자의 입도분포

Fig. 13은 무연탄비에 따른 층 유출물질의 누적 중량%를 평균입경에 따라 나타낸 것으로서 그림으로 부터 층유출 물질의 입도분포를 확인할 수 있었으며, 무연탄비에 따른 입도분포에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 미세한 입자는 bed에 주입되면 즉시 비산되고 중간 크기의 입자는 타는 도중 혹은 탄후에 비산되거나 층유출되며, 큰 입자의 것은 탄후에 배출구로 배출되게 된다. 따라서 배출구로 배출되는 층유출물의 입도분포는 무연탄비에 따라서는 큰 영향이 없는 것으로 판단된다. 다만 무연탄비 0.3일때 미세입자의 분율이 무연탄비 0.1과 0.5보다 작게 나타났는데, 이것은 무연탄비 0.3일때 미세입자의 분율이 높으므로

작은 입자들은 위로 비산되는 분율이 크고 아래로 층유출되는 분율은 상대적으로 작기 때문이다.

3.5 연소효율

Fig. 14는 무연탄비에 따른 연소효율을 나타낸 것이다. 무연탄비가 증가함에 따라 연소효율이 상대적으로 차츰 감소하는 경향을 보이고 있는데 이것은 가연성분비가 상대적으로 무연탄비의 함량이 적을 때 높기 때문이다. Fig. 15는 Air flow rate에 따른 연소효율을 나타낸 것인데 Air flow rate가 증가함에 따라 연소효율이 감소하는 경향을 보이고 있다.

Fig. 16은 과잉공기량에 따른 연소효율을 나타낸 것이다. 과잉공기량이 증가함에 따라 연소효율이 상대적으로 차츰 증가하는 경향을 보이고 있는데, 연소시 동력비용을 고려하여 유량 300scfh를 최적의 공기비로서 결정하였다. Fig. 18은 유동층 내부의 온도변화에 따른 연소효율을 나타낸 것인데 온도가 증가함에 따라 연소효율이 상대적으로 증가하는 경향을 보이고 있다. 이것으로서 최적의 조업조건은 850-900 $^{\circ}\text{C}$ 근처인 것으로 판단된다.

4. 결 론

유동층연소로에서 유·무연탄 혼합연소에 관한 실험으로 부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 온도변화에 따른 정상상태 도달시간은 유량변화에 따라 큰 차이를 보이며, 300scfh 일

때 120분 근처로 가장 빨리 정상상태에 도달하는 것으로 나타났고, O₂농도와 CO₂농도는 100분 근처에서 정상상태에 도달하는 것으로 나타났다.

2) 유동층 연소로 높이가 증가할수록 O₂농도는 대체로 감소하였고, CO₂농도는 증가하는 것으로 나타났으며, 연소영역은 주로 25cm지점에서 35cm지점인 것으로 나타났다. 또한 유,무연탄비가 증가할수록 배출 O₂농도는 증가하였고 CO₂농도는 감소하였으며, 유량이 증가할수록 O₂농도는 감소하고 CO₂농도는 증가하였다.

3) 무연탄비가 증가할수록 미세입자의 비산유출 분율이 상대적으로 높고, 유,무연탄비와 유속에 관계없이 비산유출입자의 평균입경에 따른 미연분함량은 미세입자일수록 대체로 높은 것으로 나타났다.

무연탄비와 공기유속이 증가할수록 비산유출율도 증가하였으나, 주입가연성분에 대한 유출가연성분비는 350scfh가 가장 높았고 200scfh, 250 scfh, 300scfh 에서는 큰 차이가 없었으며, 유,무연탄비가 증가할수록 주입가연성분에 대한 유출가연성분비도 증가하였다. 배출구로 배출되는 층물질의 입도분포는 유,무연탄비에 관계없이 거의 일정한 것으로 나타났다.

4) 연소효율은 무연탄비 및 Air flow rate가 증가함에 따라 상대적으로 차츰 감소하고, 과잉공기량이 증가함에 따라 연소효율이 상대적으로 차츰 증가하는 경향을 보이고 있다. 또한 유동층 내부의 온도변화에 따른 연소효율은 온도가 증가함에 따라 연소효율이 상대적으로 증가하는 경향을 보이고 있다. 층온도 850℃ 이상과 과잉공기 20% 이상에서 연소효율에 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

5) 따라서, 연소효율, 오염물질 배출, 무연탄비(발열량)등을 고려하여 외국산 유연탄과 국내산 무연탄을 유동층 연소로에서 적절히 혼합 연소시키면 국내산 저질 무연탄을 활용하는데 큰 기여를 할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 특정기초연구과제(92-26-00-02)연구비 지원에 의해 이루어진 연구 결과의 일부이며 연구비를 지원해 주신 당재단에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- Berkowitz, N., 1982. An Introduction to Coal Technology, CH10, ACADEMIC PRESS.
- Dale L. Keairns, 1976, Fluidization Technology Vol. III, 340
- Gregory, D. R., and Littlejohn, R. F., 1965, BCuRA Monthly Bull, 29, 6, 173
- Jung and Stanmore, B. R., 1984, Fuel, vol.63, 1013
- La Nauze, R. D., 1982, Fuel, vol.61, 771
- Leva, M, 1951, Chem. Eng. Prog., 39, 47
- Loison, R., and Chauvin, R., 1980, Fuel, vol. 59, 74
- Osberg G.L. and D.H. Charlesworth, 1951, Chem. Eng. Prog., 47, 566
- Pack J. H., Choi C. S. and Kang W. K., 1983, A Study on Anthracite Combustion in Fluidized Bed, PACHEC., 3, 223
- Schmal, D., 1985, Improving the Action of Sulfur Sorbent in the Fluidized Bed Combustion of Coal, Ind. Eng.chem. process des. dev.,22. pp.72.
- Stratton. J.F.O., 1972, Power 68, 486
- Stubington, J. F. and Sumaryono, 1984, Fuel, vol.63, 1013
- Sutherland J. P., Vassilatos G., Kubota H. and Osberg G. L., 1963, The Effect of Packing on a Fluidized Bed, AIChE J, 9, 437.
- Wen C.Y. and R.F. Hasinger, 1960, AIChE J., 6, 220