

유동층 연소로에서 국내 저열량 무연탄의 마모특성

박영성 · 손재익

한국동력자원연구소 폐자원연구실
(1989년 11월 9일 접수, 1990년 3월 23일 채택)

Attrition Characteristics of Domestic Low Grade Anthracite Coal in a Fluidized Bed Combustor

Yeong-Seong Park and Jae-Ek Son

Korea Institute of Energy and Resources, Daeduck Science Town, P.O. Box 5, Daejeon, Korea

(Received 9 November 1989; accepted 23 March 1990)

요 약

Bench-scale 유동층 연소로에서 국내 저열량 무연탄의 마모특성을 고찰하였다. 조업변수로서 과잉기체 속도 ($U-U_{mf}$), 유동층 온도, 과잉공기율이 적용되었으며 주요 마모특성으로서 입도분포, 성분분석, 탄소 마모율, 탄소마모유출비 등을 측정 및 고찰하였다. 실험결과 마모에 의한 탄소유출은 공급된 탄소량의 5-15%에 달하며 과잉기체속도에 비례하고 유동층 온도 및 과잉공기율에 반비례하는 것으로 나타났다. 또한 국내 저열량 무연탄은 반응성(reactivity)이 낮아 비교적 높은 유동층내 carbon load를 갖게 되므로 다른 탄종에 비해 높은 탄소마모율을 보였으며, 탄소의 마모유출비는 다음과 같은 상관식으로 표시되었다.

$$Y_{ea} = 38.05 + 13.20(U - U_{mf}) - 0.04(T_b) - 6.79(X_e)$$

Abstract—Attrition characteristics of domestic low grade anthracite coal have been studied in a bench-scale fluidized bed combustor. As operating variables, excess gas velocity($U-U_{mf}$), bed temperature, and excess air ratio were applied. Attrition characteristics such as carbon attrition rate, ratio of elutriated attrited carbon to feed carbon, as well as analysis of compositions and size distributions of coals and ashes were investigated. The experimental results show that the carbon elutriation due to attrition is in the range of 5-15% of the feed carbon, increases with the excess gas velocity, and decreases with increasing bed temperature and excess air ratio. Also, the carbon attrition rate of domestic low grade anthracite coal is shown to be greater than that of other type of coals because of the higher in-bed carbon load resulting from their lower reactivity. The following correlation has been suggested for the ratio of elutriated attrited carbon to feed carbon.

$$Y_{ea} = 38.05 + 13.20(U - U_{mf}) - 0.04(T_b) - 6.79(X_e)$$

1. 서 론

유동층 연소는 다양한 연료에 대한 탁월한 연소효과와 SO_2 , NO_x 등의 발생을 억제하는 공해방지 효과가

있어 석탄 연소공정에 널리 사용되고 있다[1-4].

유동층 연소에 있어서 발생하는 회재는 유동층 상부 혹은 하부에서 층물질형태로 배출되는 회재와 비산유출되는 회재(fly ash)로 나뉘며 이 때 연소효율은 비산유

출되는 미연탄소에 의해 좌우되는 것으로 밝혀져 있다 [5-8]. 비산회는 연소로내의 미분이 유동층 표면의 기포파괴나 기체흐름에 의해 비말동반(entrainment)되는 것으로서 시료와 함께 공급되었거나 연소 및 마모작용에 의해 생성된 미분이다.

특히 이 중에서 마모에 의한 미분생성은 유동층내의 격렬한 입자거동으로 입자-입자간, 입자-벽간의 충돌 및 문질림(rubbing) 현상에 의해 일어나는 것으로 정도의 차이는 있으나 유동층의 공정(process) 특성상 불가피한 면이 있으며 따라서 이러한 마모특성의 파악은 유동층 연소공정을 이해하고 효과적인 연소공정 설계 및 운전을 수행하는데 아주 기본적인 요소가 되고 있다[9, 10].

지금까지 유동층 연소에 있어서 석탄의 마모특성 연구는 Merrick 와 Highley[11], Donsi 등[12,13], Arena 등[14-16]이 회분식(batch type) 혹은 연속적인 조업하에서 주요 조업인자에 대한 몇 가지 마모특성 자료를 보고한 바 있으나 연소반응측면에서 이들과 판이한 국내 무연탄에 대해서는 상온조건에서 실험한 이등[17]의 자료가 있을 뿐 거의 전무한 실정이다.

본 연구에서는 유동층 연소로에서의 국내 저열량 무연탄에 대한 마모특성을 규명하기 위하여 유동층 온도, 과잉기체속도($U-U_{mf}$), 과잉공기율 등의 기본적인 조업조건을 적용하여 bench-scale 유동층 연소실험을 수행하였으며, 주요 마모특성으로서 입도분포 및 성분분석을 비롯해서 탄소마모율(carbon attrition rate), 탄소마모유출비(ratio of elutriated attrited carbon to feed carbon) 등을 고찰하였다.

2. 실험

2-1. 시료특성

유동층 연소로에서 마모특성 실험에서는 충남지역에서 채탄되는 발열량 2,400 kcal/kg의 저열량 무연탄을 시료로 사용하였다. 시료는 공급단계에서 주입되는 미분입자(fine particle)를 제거하여 마모특성만을 독립적으로 고찰하는 것이 가능하도록 하고 원활한 유동층의 형성을 기하기 위해 원탄을 2차 체분리하여 0.71 mm 이상 4 mm 이하로 제한하였으며, 이 때 평균입도는 1.45 mm에 해당하였다. Table 1은 시료탄의 공업분석 및 원소분석치를 나타낸 것이다. 시료는 휘발분함량이 낮으며 회분함량이 높은 전형적인 고회분저열량 무연탄이다.

Table 1. Proximate and ultimate analyses of coal sample

| 공업분석 (%) | | 원소분석 (dry basis, %) | |
|----------|-------|---------------------|-------|
| 수 분 | 4.20 | C | 32.84 |
| 휘 발 분 | 3.86 | H | 0.57 |
| 회 분 | 60.90 | O | 3.92 |
| 고정탄소 | 31.04 | N | 0.14 |
| | | S | 0.12 |
| | | Ash | 62.41 |

H.H.V. : 2400 kcal/kg

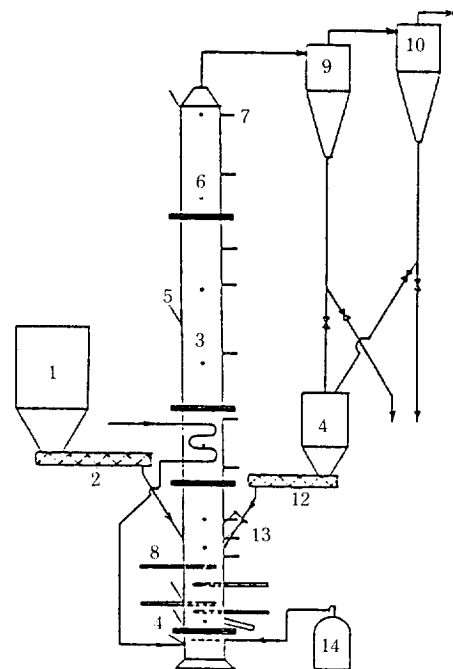


Fig. 1. Bench-scale fluidized bed coal combustor.

- | | |
|--------------------|--------------------|
| 1. Coal hopper | 2. Screw feeder |
| 3. Combustor | 4. Distributor |
| 5. Pressure tap | 6. Thermocouple |
| 7. Gas probe | 8. Cooling tube |
| 9. First cyclone | 10. Second cyclone |
| 11. Fly ash hopper | 12. Recycle screw |
| 13. Sight glass | 14. LPG bomb |

2-2. 실험장치

본 실험에 사용된 실험장치는 Fig. 1과 같으며 크게 석탄 및 공기주입부분, 연소로부분, 연소가스 배출부분으로 나뉜다. 석탄주입부분은 석탄저장조와 감속기(1/10), 2인치관의 screw feeder로 구성되며 변속조절기(variable speed controller)를 사용하여 석탄

의 공급량을 조절할 수 있도록 하였다. 공기주입부분은 rotary compressor 및 조절기(regulator), 유량계(flow meter) 등으로 구성되며 연소용 공기는 이들을 거쳐 공기상자(air plenum)로 유입되도록 되어 있다.

연소로부분은 스텔레스관으로서 내경 20 cm, 높이 60 cm의 bed 부분과 내경 20 cm, 높이 240 cm의 freeboard로 구성되며 freeboard에는 공기에열관을 설치하여 필요에 따라 연소용 공기의 예열이 가능하도록 하였다. 연소로는 외벽 단열식으로 되어 있으며 단열재로는 두께 7.5 cm의 세라믹 화이버(blanket 1500, 1300)를 사용하였다. 공기분산판은 다공판(perforated plate)을 사용하였는데 오리피스 직경 1.2 cm, 피치 1.8 cm, 개구비(opening area ratio) 1.2%이다. 석탄투입구는 공기분산판으로부터 50 cm 위에 위치하며 운전 중에는 over-bed로 석탄이 투입되도록 하였다.

연소로내에는 공기분산판으로부터 10 cm 간격으로 외경 1 cm인 스텔레스관으로 되어 있는 3개의 수평전열관을 설치하여 조업조건의 변화 및 유동층 온도조절이 가능하도록 하였으며, 공기분산판 상부 80 cm 높이에 길이 30 cm의 물자켓(water jacket)을 설치하여 freeboard 열추출 및 온도조절이 가능하도록 하였다. 또한 로내 온도분포와 압력차(pressure drop)를 측정하기 위한 12개의 열전대(K type, Chromel-Alumel)와 5군데의 압력점(pressure tap)을 설치하였다.

연소로 벽에는 수직방향으로 8군데의 가스시료채취용 probe가 설치되어 있으며, 채취된 배기가스의 수분응축 및 제거를 위한 냉각조(cooling bath), 분진제거용 필터, 가스흡입용의 air pump(AP-115N), 실리카겔 건조기 등이 가스분석을 위해 부수적으로 설치되어 있다. 이 밖에도 공기분산판으로부터 5 cm 높이에 45°경사를 갖는 층물질(bed material) 배출관을 설치하여 운전 중 층높이 변화 및 유지에 적용할 수 있도록 하였다.

마지막으로 연소가스 배출부분은 2인치관의 duct와 비산회(fly ash)를 포집하기 위한 1차 및 2차 사이클론과 배기가스 흡입용의 유도통풍팬(induced draft fan)으로 구성된다.

2-3. 실험방법

층물질(bed material)로 연소로 내부에 0.5-3 mm 정도의 석탄회(coal ash)를 약 5 kg 충전하여 고정층 높이(static bed height)가 20 cm 정도에 이르도록 하고 공기를 plenum과 공기분산판을 거쳐 공급함으로써

유동층이 형성되도록 한다.

유동층이 형성된 후 plenum내의 별도 노즐을 통해 13-15 liter/min로 공급되는 LPG를 유동층 상부에서 수동으로 착화시킴으로써 유동층을 예열시킨다. 예열이 시작된 후 0.5-1시간 동안에 유동층 온도는 석탄의 착화가 가능한 700°C 정도에 도달하게 되며 이 때부터 호퍼에 저장되어 있는 시료탄을 screw feeder의 rpm 조절방식을 통해 연소로내 bed 상부로 공급한다. 석탄과 LPG가 동시에 연소되면서 bed 온도는 급격히 상승하게 되며 이 때부터 LPG 공급량을 서서히 줄이기 시작하여 유동층 온도가 900-950°C에 이르면 LPG 공급을 완전히 중단하고 석탄공급량 및 공기유량을 조절하면서 디지털 온도기록계(Fluke model 2190A)와 U자형 마노메타에 나타나는 연소로내 온도와 압력차 등을 토대로 조업이 정상상태에 이르도록 한다.

본 마모특성 실험에서는 특히 본질적인 미분(fine particle)의 비산을 억제하기 위해 주어진 유동화 속도보다 큰 종말속도(terminal velocity)를 갖는 입자를 시료로 사용하였으며, 마모에 의해 비산되는 탄소량을 정확히 측정하기 위해 freeboard 영역의 일부 벽면에 설치된 전열관(water jacket)에 물을 순환시켜 freeboard 온도를 600°C 이하로 조절하여 층내 마모에 의해 비산되는 탄소의 freeboard내 연소가 억제되도록 하였다.

연속적인 정상조업상태하에서 석탄공급량, 공기유량 등을 측정하고 아울러 비산유출되어 사이클론에 포집된 고체입자의 무게측정, 탄소성분분석을 실시하여 이들을 토대로 마모에 의한 미분탄소의 생성속도를 나타내는 탄소마모율(carbon attrition rate)과 비산유출된 탄소량과 공급된 탄소량의 비로 표시되는 탄소의 마모유출비(ratio of elutriated attrited carbon to feed carbon, Y_{ea})를 산출한다.

물론 시료 중의 본질적인 미분입자가 제거된 상태라고 해도 탈휘발(devolatilization) 과정에서 일어나는 fragmentation과 연소과정에서의 입도축소(shrink-ing) 현상에 의해 작은 입자의 생성과 비산유출이 있을 수 있으나 본 실험에 적용된 국내 무연탄은 연소특성상 연소시 입경이 거의 일정하게 유지되며 또한 화발분함량이 매우 낮은 점을 고려할 때 이들의 영향은 거의 무시할 수 있을 것으로 사료된다[18].

본 마모특성 실험에는 조업변수로서 유동화속도, 유동층 온도, 과잉공기율 등이 적용되었으며 Table 2는 조업변수의 조업조건을 나타낸 것이다.

Table 2. Experimental conditions

| Variables | Operating ranges |
|---------------------------------|---------------------------|
| Coal feed rate | 10-18 kg/hr |
| Bed temperature | 850-950 °C |
| Fluidizing velocity | 1.5-2.1 m/sec |
| Excess gas velocity | 1.0-1.6 m/sec |
| Air flow rate | 38-58 Nm ³ /hr |
| Excess air ratio | 1.0-1.4 |
| Static bed height (l_b/D_f) | 1.0-1.3 |

3. 결과 및 고찰

국내 저열량 무연탄의 유동층 연소에 있어서 마모특성 자료로는 시료 및 배출회재의 입도분포, 비산유출된 입자의 입도별 성분 및 연소전환율, 탄소마모율(carbon attrition rate), 탄소마모유출비(ratio of elutriated attrited carbon to feed carbon) 등을 들 수 있

Table 3. Size distributions of coal and ashes

| Size range (mm) | Cumulative fraction (-) | | |
|-----------------|-------------------------|--------------|--------------------|
| | Coal | Bottom drain | Cyclone collection |
| 3.36-2.00 | 0.327 | 0.215 | |
| 2.00-1.41 | 0.601 | 0.459 | |
| 1.41-1.00 | 0.882 | 0.752 | |
| 1.00-0.71 | 0.984 | 0.911 | |
| 0.71-0.42 | | 0.970 | 0.071 |
| 0.42-0.25 | | 0.988 | 0.339 |
| 0.25-0.177 | | | 0.507 |
| 0.177-0.125 | | | 0.652 |
| 0.125-0.074 | | | 0.818 |
| 0.074-0.053 | | | 0.893 |
| 0.053-0.044 | | | 0.994 |
| 0.044-0.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |

Table 4. Composition and carbon conversion of elutriated particles

| Size range (mm) | Weight fraction | Moisture (%) | Volatile (%) | Ash (%) | Fixed carbon (%) | Conversion (%) |
|-----------------|-----------------|--------------|--------------|---------|------------------|----------------|
| 0.710-0.420 | 0.092 | 1.38 | 1.84 | 83.88 | 12.90 | 69.8 |
| 0.420-0.250 | 0.264 | 2.26 | 2.07 | 67.78 | 27.89 | 19.2 |
| 0.250-0.177 | 0.159 | 2.94 | 2.21 | 63.44 | 31.41 | 2.9 |
| 0.177-0.125 | 0.133 | 2.19 | 2.04 | 65.02 | 30.75 | 7.2 |
| 0.125-0.074 | 0.140 | 1.89 | 1.95 | 74.15 | 22.01 | 41.8 |
| 0.074-0.053 | 0.080 | 1.16 | 2.19 | 84.43 | 12.22 | 71.6 |
| 0.053-0.044 | 0.115 | 0.80 | 2.10 | 90.66 | 6.44 | 86.1 |
| 0.044-0.000 | 0.017 | 0.14 | 1.93 | 88.90 | 7.73 | 82.9 |

며 이들에 대한 구체적인 실험결과는 다음과 같다.

Table 3 은 시료탄과 하부배출회재(bottom drain ash) 그리고 비산유출되어 사이클론에 포집된 회재의 입도분포를 나타낸 것이다. 시료탄은 1mm 이상이 거의 대부분을 차지하고 있으며 0.71mm 이하도 극히 일부분 포함되어 있는데, 이는 공급시 screw feeder 이송과정에서 분쇄에 의해 공급량의 1-2%에 해당되는 미분이 생성되기 때문이며 이 값은 마모율 산출과정에서 보정된다.

하부배출회재는 역시 시료탄과 비슷한 입도분포를 보이나 유동층내의 마모작용으로 전체적으로 약간씩 낮은 분율을 보이며 0.71mm 이하가 차지하는 비율도 시료탄보다는 다소 높은 값을 보이고 있다.

사이클론에 포집된 비산회재는 0-0.71mm의 입도분포를 보이며 0.25mm 이하가 대부분을 차지하고 있음을 알 수 있다. 특히 하부배출회재와 사이클론 포집회재의 입도분포 중 0.42-0.71mm는 서로 비슷한 분율로 중첩되어 있는데 이는 시료탄이 유동층내에서 탈수 및 연소과정을 거치면서 층물질(bed material)로 누적될 때 bulk density가 작아지면서 그 중 일부가 비산유출되어 사이클론에 포집되기 때문인 것으로 판단된다.

Table 4 는 유동층 온도 950°C, 유동화속도 1.9m/sec 조건에서 유동층내 마모작용에 의해 비산유출된 입자의 입도별 성분 및 연소전환율을 나타낸 것이다. 각 유출된 입자는 대부분 40-50%의 수분 및 휘발분 잔류율을 보이며 일부 층물질(bed material) 중에서 비산유출된 것으로 보이는 0.42mm 이상 굵은 입자와 층내 마모생성후 추가연소(in-bed post combustion)의 영향을 다소 받을 수 있는 아주 작은 입자[200 mesh (0.074mm) 이하]를 제외하고는 탄소함량이 높고 회의수지(ash balance)로부터 산출되는 탄소 연소전환율이

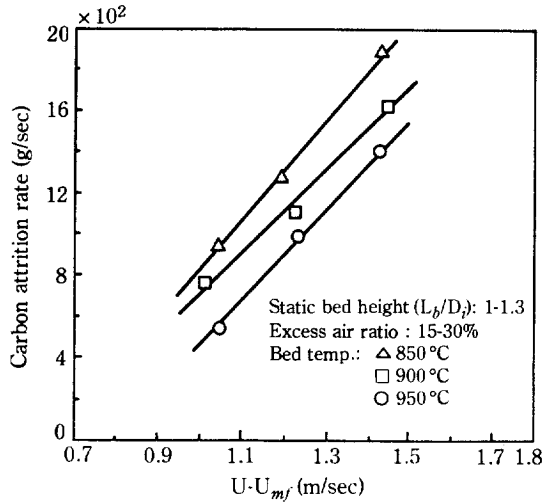


Fig. 2. Effect of fluidizing velocity on carbon attrition rate.

낮게 나타났다. 이처럼 마모에 의해 비산유출된 입자들의 수분 및 휘발분 잔류율이 비교적 높고 탄소의 연소 전환율이 낮은 것은 마모에 의한 탄소비산유출이 유동층 연소로내 석탄공급 이후 짧은 시간내에 주로 일어나는 것을 말해주는 것으로 볼 수 있다. 이러한 결과는 이 등[17], Arena 등[14], Chen 등[19]의 상온 및 고온 batch식 실험을 통해 이미 밝혀진 바 있다.

Fig. 2는 주어진 온도 및 과잉공기를 조건하에서 유동화속도의 증가에 따라 같은 비율로 석탄공급량이 변화될 때 과잉기체속도($U-U_{mf}$)에 따른 탄소마모율을 나타낸 것이다. 탄소마모율은 과잉기체속도의 증가에 따라 크게 증가하여 과잉기체속도가 1-1.5 m/sec 범위에서 변화될 때 탄소마모율은 2-2.5배 증가하는 것으로 나타났다.

Fig. 3은 과잉기체속도에 따른 탄소마모유출비(Y_{ea})를 나타낸 것이다. 마모에 의한 탄소유출은 공급된 탄소량의 5-15%에 달하며 주어진 유동층온도 및 과잉공기율하에서 과잉기체속도의 증가는 탄소마모유출비의 증가를 가져오는 것으로 나타났다. 이처럼 과잉기체속도가 증가할수록 탄소마모율과 탄소마모유출비가 증가하는 것은 Donsi 등[12]이 제시한 바와 같이 과잉기체속도가 증가될수록 유동층내에서 좀더 격렬한 입자의 움직임이 야기되어 입자-입자간, 입자-벽간의 문질림에 의한 마모강도(attrition intensity)가 늘어나며 또한 기체속도가 높을수록 미분입자의 비산유출이 가능한 입도 범위가 넓어지기 때문으로 볼 수 있다.

Fig. 4는 유동층 온도에 따른 탄소마모유출비를 나타

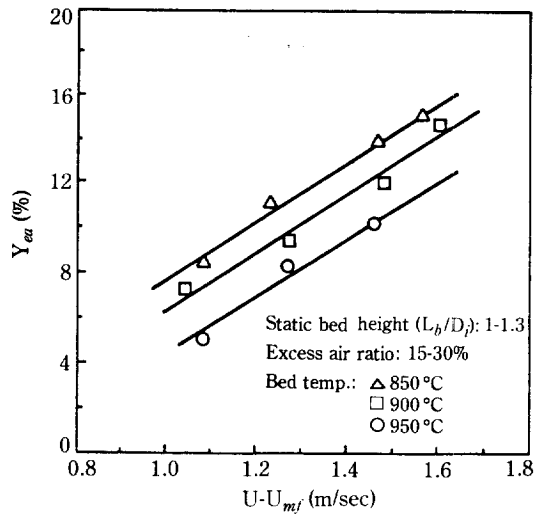


Fig. 3. Effect of excess gas velocity on ratio of elutriated attrited carbon to feed carbon.

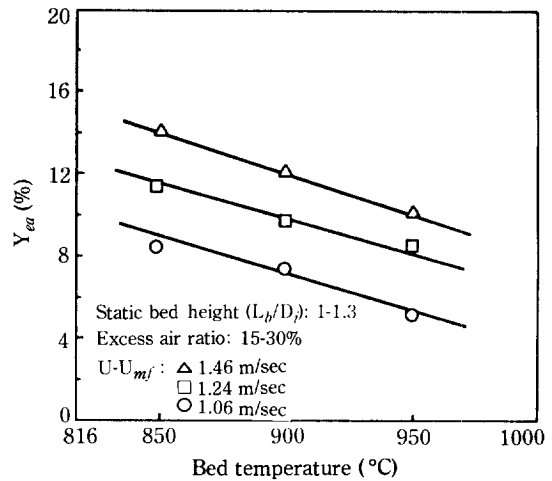


Fig. 4. Effect of bed temperature on ratio of elutriated attrited carbon to feed carbon.

낸 것이며 유동층 온도의 증가에 따라 탄소마모유출비는 직선적으로 감소하는 것을 보여주고 있다. 이처럼 유동층 온도와 탄소마모유출비의 반비례관계는 Donsi 등[12, 13], Arena 등[14, 15]이 밝힌 바와 같이 유동층 온도에 따른 bed 내 탄소체류량(carbon load)의 변화를 통해 설명될 수 있다. 즉, 탄소공급량이 일정한 경우에 있어서 유동층 온도가 증가하면 탄소의 연소속도는 증가하고 따라서 그만큼 bed 내 carbon load는 줄어들게 되는데 이로 인해 결국 마모에 의한 탄소유출이 감소되는 것으로 볼 수 있다. 유동층내 carbon

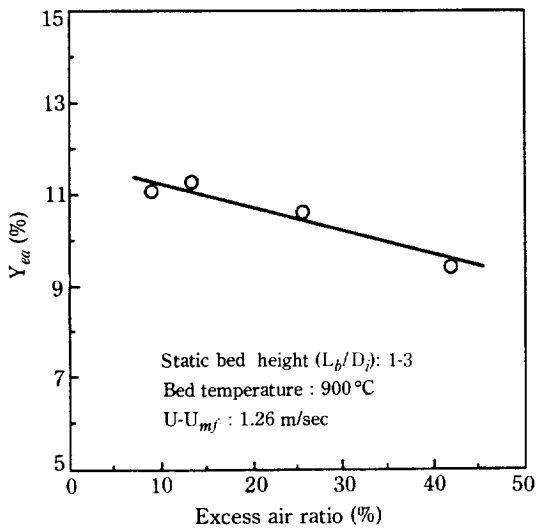


Fig. 5. Effect of excess air ratio on ratio of elutriated attrited carbon to feed carbon.

load와 탄소마모율과의 관계는 Beer 등[20]에 의해 이미 밝혀진 바 있다.

Fig. 5는 주어진 유동층 온도 및 과잉기체속도 조건 하에서 과잉공기율에 따른 탄소마모율의 변화를 나타낸 것이다. 과잉공기율이 10-40% 범위에서 증가될수록 탄소마모율은 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 과잉공기율이 증가될수록 석탄의 공급량이 감소되고 또한 유동층내 산소분압의 증가와 함께 탄소의 연소속도가 빨라져 결국 유동층의 carbon load는 크게 줄어들게 되는데 이러한 상태에서 석탄공급량이 줄어드는 비율 이상으로 탄소마모율이 감소되기 때문에 일어나는 것으로 볼 수 있다. 과잉공기율에 따른 carbon load 변화 및 탄소마모율 감소현상은 Donsi 등[12,13], Arena 등[14, 16]의 연구결과에 잘 설명되어 있다.

한편 국내 저열량 무연탄의 유동층 연소에 있어서 탄소마모율비 5-15%는 유연탄이나 coke 등에 비해서는 월등히 높은 값에 해당되는 것으로 나타났다. 이는 Arena 등[15], Gibbs와 Beer[21]가 밝힌 바와 같이 reactivity가 작은 탄일수록 bed내 carbon load가 늘어나며, 또한 열량이 낮을수록 일정한 유동화 속도하에서 실제로 공급되는 석탄량은 늘어나 마모작용을 받게 되는 입자표면적을 증가시키기 때문으로 볼 수 있다. 박 등[22]은 열칭칭(thermogravimetric analyzer)을 이용한 국내 무연탄의 kinetics 특성실험을 통해서 국내 무연탄은 외국의 갈탄, 역청탄, 아역청탄에

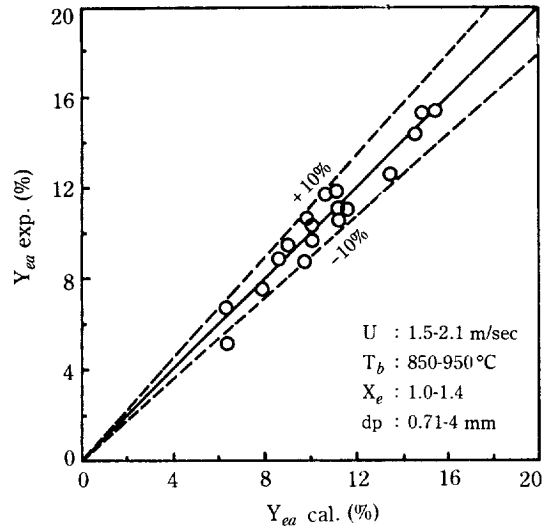


Fig. 6. Comparison between calculated ratios of elutriated attrited carbon and measured ones.

비해 1/5-1/20에 해당되는 낮은 reactivity를 갖는 것으로 발표한 바 있다.

이상 살펴본 유동층 온도(T_b), 과잉기체속도($U-U_{mf}$), 과잉공기율(X_e) 등의 영향을 토대로 다중선형 회귀법(multiple linear regression)을 이용하여 탄소마모율비를 이들 변수에 대한 1차 다항식의 상관관계로 나타내면 다음 식으로 표시된다.

$$Y_{ea} = 38.05 + 13.20(U - U_{mf}) - 0.04(T_b) - 6.79(X_e) \\ 850 \leq T_b \leq 950^\circ\text{C}, 1.0 \leq X_e \leq 1.4 \\ 1.0 \leq U - U_{mf} \leq 1.6 \text{ m/sec}$$

이 때 상관관계식의 상관계수(r^2)는 0.91이며 Fig. 6에 표시된 바와 같이 실험치와 예측치는 $\pm 10\%$ 범위내에서 잘 일치하였다.

이러한 상관관계식은 주요인자로서 유동층내 carbon load 대신에 쉽게 구할 수 있는 조업변수만으로 구성되어 있으므로 유사한 계에 편리하게 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

4. 결 론

Bench-scale 유동층 연소에서 국내 저열량 무연탄에 대한 마모특성 실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 마모에 의해 비산유출된 입자는 대부분 0.25 mm

이하이며 수분 및 휘발분 잔류율이 비교적 높고, 낮은 탄소 연소전환율을 보임으로써 주로 석탄의 공급초기단계에서 마모작용이 일어남을 알 수 있었다.

2. 유동층에서의 마모에 의한 탄소입자의 비산유출은 전체 공급되는 탄소량의 5-15%를 차지하며 과잉기체속도($U-U_{mf}$)에 비례하고 유동층 온도, 과잉공기율에 반비례하며 탄소마모유출비는 다음의 상관식으로 표시되었다.

$$Y_{ea} = 38.05 + 13.20(U - U_{mf}) - 0.04(T_b) - 6.79(X_e), \\ (r^2 = 0.91)$$

3. 국내 저열량 무연탄은 낮은 reactivity에 의해 유동층내 carbon load가 늘어나며 또한 동일한 유동화 속도 조건에서 열량이 낮을수록 석탄공급량이 늘어나 마모작용을 받는 입자표면적을 증가시키므로 다른 탄종에 비해 상대적으로 높은 탄소마모율을 보임을 알 수 있었다.

NOMENCLATURE

| | |
|-----------|--|
| D_i | : inside diameter of combustor [m] |
| dp | : particle diameter of feeding coal [mm] |
| H.H.V. | : high heating value [kcal/kg] |
| L_b | : static bed height [m] |
| L_b/D_i | : static bed height [-] |
| r^2 | : correlation coefficient [-] |
| T_b | : bed temperature [°C] |
| U | : fluidizing velocity [m/sec] |
| U_{mf} | : minimum fluidizing velocity [m/sec] |
| X_e | : excess air ratio [-] |
| Y_{ea} | : ratio of elutriated attrited carbon to feed carbon [%] |

REFERENCES

- Well, J.M., Byrd, J. R. and Krishnan, R.P.: "Simulation of Large Scale Atmospheric Fluidized Bed Combustion System", Proc. of the 7th Int. Conf. on FBC, 2, 1107 (1982).
- Rajan, R.R. and Wen, C.Y.: *AIChE J.*, **26**(4), 642 (1980).
- 손재익 외: "저질탄의 유동층 연소기술 및 공해방지에 관한 연구(II)", 연구보고서 KE-82T-8, 한국동력자원연구소 (1982).
- 문상훈 외: "저질탄의 유동층 연소기술 개발연구(III)", 연구보고서 BS N17(4)-1890-6, 한국과학기술원 (1983).
- Park, Y.S., Choi, J.H., Son, J.E. and Maeng, K.S.: *HWAHAK KONGHAK*, **22**(2), 107 (1984).
- Choi, J.H., Son, J.E. and Kim, S.D.: *Korean J. of Chem. Eng.*, **2**(2), 111 (1985).
- La Nauze, R.D.: "Fluidization", ed. by Davidson, J.F., Clift, R. and Harrison, D., 2nd Ed. 631-674 (1985).
- Lee, J.K., Hu, C.G., No, J.K., Shin, Y.S. and Chun, H.S.: *HWAHAK KONGHAK*, **26**(5), 517 (1988).
- Chirone, R., D'Amore, M., Massimilla, L. and Mazza, A.: *AIChE J.*, **31**(5), 812 (1985).
- Kono, H.: "Attrition Rates of Relatively Coarse Solid Particles in Various Types of Fluidized Beds", *AIChE Symp. Ser.*, **77**(205), 96 (1981).
- Merrick, D. and Highley, J.: "Particle Size Reduction and Elutriation in a Fluidized Bed Process", *AIChE Symp. Ser.*, **70**(137), 366 (1974).
- Donsi, G., Massimilla, L. and Miccio, M.: *Combustion and Flame*, **41**, 57 (1981).
- Donsi, G., Massimilla, L. and Miccio, M.: "The Elutriation of Solid Carbon from a Fluidized Bed Combustor", Riv. Combustion, CNR Naples Italy, Vol. 34, 336 (1980).
- Arena, U., D'Amore, M. and Massimilla, L.: *AIChE J.*, **29**(1), 40 (1983).
- Arena, U., Chirone, R., D'Amore, M. and Massimilla, L.: *Combustion and Flame*, **57**, 123 (1984).
- Arena, U., D'Amore, M., Massimilla, L., Mea, S. and Miccio, M.: *AIChE J.*, **32**(5), 869 (1986).
- 이희우 외: "저질탄의 유동층 연소기술 개발연구(II)", 연구보고서, 한국과학기술원 (1981).
- Lee, I.C., Rhee, H.K. and Park, W.H.: *HWAHAK KONGHAK*, **19**(4), 259 (1981).
- Chen, T.P., Sishtla, C.I., Punwani, D.V. and Aras-toopour, H.: "A Model for Attrition in Fluidized Beds", Proc. of the 4th Int. Conf. on Fluidization, 445 (1980).
- Beer, J.M., Massimilla, L. and Sarofim, A.F.: Inst. Energy Symp. Ser. (London) 4, IV. 5.1-IV. 5.10. (1980).
- Gibbs, B.M. and Beer, J.M.: "A Pilot Plant Study of Fluidized Bed Coal Combustor", I Chem. E. Symp. Ser. No. 43, 23-1 (1975).
- 박영철 외: "열전달을 이용한 국내 무연탄 연소반응연구", 연구보고서, 과학기술처 KE-85(B)-4, (1985).