

유동층연소로에서 유연탄과 무연탄의 연소특성 해석

장 현 태[†] · 박 태 성* · 홍 성 창**

한서대학교 화학공학과, *고려대학교 화학공학과, **경기대학교 환경공학과
(1999년 3월 18일 접수, 1999년 5월 6일 채택)

Analysis of Combustion Characteristics of Bituminous and Anthracite Coal in a Fluidized Bed Combustor

Hyun Tae Jang[†], Tae Sung Park*, and Sung Chang Hong**

Department of Chemical Engineering, Hanseo University, Chungnam 352-820, Korea

*Department of Chemical Engineering, Korea University, Seoul 136-701, Korea

**Department of Environmental Engineering, Kyonggi University, Kyonggi 442-760, Korea

(Received March 18, 1999; accepted May 6, 1999)

요약: 유연탄과 무연탄 및 유, 무연탄의 연소특성을 해석하기 위하여 내경 0.109 m의 유동층반응기에서 회분식 석탄주입에 따른 유동화특성과 연소특성실험을 수행하였다. 온도변화곡선, 압력요동특성치를 이용하여 회분식유동층에서 유연탄과 무연탄 및 혼합석탄의 연소특성을 측정하였다. 유연탄과 무연탄의 입자크기, 두 석탄의 혼합비, 유동화매질의 입자크기에 따른 영향을 고찰하였다. 유연탄과 무연탄의 혼합연소시 무연탄의 혼합비가 30%인 경우가 유연탄의 연소속도 및 연소거동이 최적으로 나타났다. 저품위 고회분 무연탄의 경우 유동화특성보다 연소특성에 의한 영향이 더욱 크게 나타났다. 또한 유동층의 유동화특성에 의하여 연소거동이 변화됨을 알 수 있었다.

Abstract: Mixed-firing of a bituminous and an anthracite coal carried out in a batch fluidized bed combustor(0.109 m-I.D., 0.9 m-height). Effects of particle size and mixing fraction of anthracite and bituminous coal on combustion characteristics were studied. The temperature profiles and pressure fluctuation properties were measured to interpret the combustion characteristics in a batch fluidized bed combustor. The used domestic anthracite coal has heating value of 2010 kcal/kg and the imported high-calorific bituminous coal has heating value of 6520 kcal/kg. The combustion characteristics in a batch fluidized bed combustor could be interpreted by using pressure fluctuation properties and temperature increasing rates. It was found that the optimum anthracite mixing percentage could be predicted analyzing the combustion rate and fluidization characteristics. The optimum mixing fraction was about 30%. The different burning region of fluidized bed combustor was measured by temperature increasing rates.

Key words: Fluidized bed coal combustor, Bituminous, Anthracite coal, Mixed firing

1. 서 론

석유 및 가스자원은 지역적으로 편재되어 있고 매장량에도 한계성을 지니고 있는 반면에 석탄은 전세계적으로 고르게 매장되어 있으며, 앞으로 사용기간도 석유나 가스에 비하여 길다. 또한 장기적인 에너지원 공급 면에서도 안정적이라 할 수 있으므로 석탄 활용기술개발에 관한 연구가 꾸준히 계속되고 있다.

현재 에너지 수요가 폭발적으로 증가하고 있으나 석유의 한정적인 공급과 핵에너지의 이용 제한으로 에너지원의 다변화가 절실한 실정이다. 따라서 청정에너지라 할 수 있는 태양력, 풍력, 조력, 수력, 지열 등 에너지원 이용기술 연구에 집중하고 있으나 아직까지는 대형화와 적용이 미비한 실정이다. 따라서 이와 같은 환경에너지가 개발되기 전까지 석탄의 효율적 이용은 매우 중요하다. 이와 같은 현실로 인하여 화석연료 중 석탄 이용에 많은 관심이 집중되고 있으며 장기적인 발전 계획에서 석탄이 차지하는 비율이 증가하고 있다. 석탄연소시 다량으로 발생하는 이산화탄소의 효율적인

제어, 관리 및 황산화물과 질소산화물의 제어에 대한 많은 연구가 진행되고 있다.

따라서 황산화물과 질소산화물 등 공해물질 배출을 최소화 할 수 있는 연소법이 요구되고 있으며, 열 전달과 물질전달 면에서 우수하고, 단위용적당 처리 양이 다른 장치에 비하여 뛰어나고 장치의 소형화가 가능한 유동층 연소기술이 각광을 받고 있다. 유동층 연소법은 사용연료의 제약이 적고 미분화 회분 제거 등 전처리 과정을 거치지 않으며 석탄을 직접 연소할 수 있으므로 다른 연소법에 비하여 우수하다. 또한 낮은 연소로의 조업온도로 인하여 질소산화물 배출량이 다른 연소기에 비하여 현저히 낮다.

국내 무연탄은 고회분 저열량탄만이 부존되어 있으므로 채산성 문제로 인하여 쇠퇴하고 있다. 따라서 수입 유연탄 이용이 증가하고 있으며, 탄종의 제한이 없는 유동층연소로 사용이 증대되고 있다. 이와 같은 유동층연소기의 장점으로 인하여 각 단위 공장에 소형 유동층연소로가 열병합발전용으로 널리 사용되고 있으나 탄광에 방치되어 있는 저질탄의 처리와 효율적인 에너지원의 이용 관점에서 유연탄과 무연탄의 혼합연소가 필요하다.

이와 같은 혼합연소를 위해서는 유연탄과 무연탄의 유동층연소로에서의 기본적인 연소특성에 대한 연구가 필수적이다. 많은 연구

[†] 주 저자 (e-mail: htjang@gaya.hanseo.ac.kr)

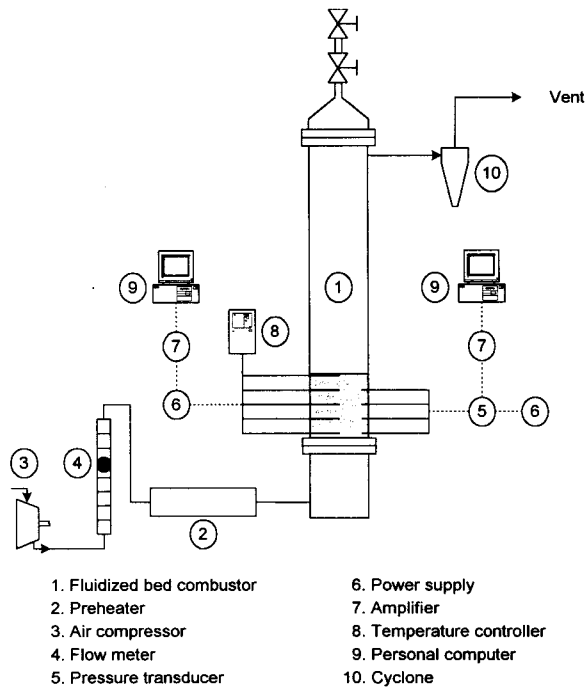


Figure 1. Experimental facilities and data processing system.

자들에 의하여 char의 연소모델과 연소특성에 대한 연구는 진행되어졌으며, 유동층연소에서 단일입자의 연소에 대한 모델도 연구가 되어졌다[1-4]. 유동층연소에서 입자의 투입에 다른 연소특성에 대한 연구는 현재 진행되지 않았다.

따라서 본 연구에서는 회분식 유동층을 이용하여 시료 석탄의 펄스형식의 투입에 따른 층내 연소현상에 대한 해석을 압력요동특성치와 온도변화곡선을 이용하여 수행하고자 하였다. 그러므로 유동층내의 층내입자의 크기 및 분포에 따라 석탄의 탄종과 크기 및 유, 무연탄의 혼합비에 따른 층내 현상을 측정하여 유동층내의 석탄의 크기와 종류에 의한 연소현상을 규명하고자 연구를 수행하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1. 실험장치

본 실험에서 사용한 실험장치는 Figure 1과 같다. 유동층연소는 내경 0.109 m stainless steel 재질로 되어 있으며, 전체 높이가 0.9 m로 freeboard가 일반적인 유동층 장치에 비해 낮은 형태로 제작하였다. Freeboard의 높이를 이와 같이 작게 설계한 것은 유동층내에 석탄시료를 펄스로 투입한 경우 위치에너지가 큰 경우 층내의 유동화현상이 깨지고 새로이 형성되므로 인하여 정확한 측정이 어려우므로 낮은 freeboard 높이를 갖게 제작하였다. 공기분산판으로 내경 0.8 mm 다공성 분산판(square pitch type, opening area 4.75%)을 사용하였으며, 비산유출되는 입자를 포집하기 위해서 배출구에 cyclone를 설치하였다. 유동층내 조업상태를 관측하기 위하여 공기상자와 in-bed 영역에 6개의 압력전달기를 설치하여 조업상태를 관측하였으며 층 전체에 걸쳐 설치되어 있는 열전대를 사용하여 층내 온도분포를 관측하였다. 유동층 온도와 유동화공기의 예열을 위하여 각각 7 kW, 5 kW의 전기히터를 사용하였다.

시료의 주입은 유동층 최상부에 설치되어 있는 이중형의 밸브로 이루어진 주입기를 사용하였다.

Table 1. Experimental Conditions

Operating variables	Operating range
Inlet air velocity (m/sec)	0.250~0.394
Initial in-bed particles (mm)	0.359, 0.715, multi-sized (1.19 under)
Bed temperature (°C)	700, 750, 800, 850, 900
Aspect ratio (L/D)	0.5, 1, 1.5, 2.0
Anthracite mixing fraction	0~1.0
Temperature measuring position (m, above distributor)	0.025, 0.05, 0.075, 0.10, 0.125
Pressure fluctuation measuring position (m, above distributor)	0.025, 0.05, 0.075, 0.10, 0.125
Feeding coal size (mm)	0.194, 0.359, 0.715, 1.30, multi-sized (1.19 under)

2.2. 실험방법

유동층연소에서 실험은 초기에 조업조건에 따라 각각의 무연탄 균일입자나 다입자정 회분을 유동층에 충전시킨 후 유동화시킨 상태에서 전기히터를 이용하여 유동층 온도를 원하는 조업조건까지 가열한다. 유동층이 가열되어 유동층내의 각 부분의 온도가 정상상태에 이르면 층최상부에 설치된 시료주입 부분에 석탄시료를 주입하고 밸브를 순간적으로 열어 유동층내에 석탄시료를 투입한다. 석탄입자가 주입되면 유동층에 설치된 압력전달기로부터 압력요동을 측정하며 또한 열전대로부터 온도의 변화를 읽어들이고 이를 시간대별로 계산하여 평균압력, 압력요동의 표준편차, power spectrum distribution, 주진동수 등을 계산한다[5,6]. 각각의 계산식은 식 (1)~(3)과 같으며, 본 연구에서는 10 ms 간격으로 data를 측정하여 1024개를 1 set로 계산하였다. 또한 본 실험의 조건은 Table 1에 나타내었다.

$$S.D. = \left[\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T (X(t) - \mu_x)^2 dt \right]^{1/2} \quad (1)$$

$$\mu_x = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T X(t) dt \quad (2)$$

$$G_x(f) = 2 \int_{-\infty}^{\infty} R_x(\tau) \exp(-i2\pi f \tau) d\tau \quad (3)$$

2.3. 시료

연소특성실험에 사용한 석탄 시료는 국내산 저질 무연탄과 호주산 유연탄을 사용하였으며 이들 시료에 대한 공업분석, 원소분석, 회분분석은 Table 2에 나타내었다. 무연탄은 경북 문경산으로 발열량이 2010 kcal/kg, 회분량이 64.75%로 고회분 저발열량인 저품위 석탄이다. 유연탄은 발열량이 6520 kcal/kg, 회분량이 8.38%로 고품위 석탄이며, 황 함량이 0.21%로 매우 낮은 저유황 석탄이다. 가연성분은 유연탄이 84.57%이고 무연탄이 33.45%이다. 시료의 회분 중에 포함된 성분은 두 석탄 모두 SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃가 주종을 이루고 있다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 유연탄과 무연탄 혼합에 따른 연소특성

유동층연소에 석탄을 공급하였을 때 석탄입자들은 유동층내에 각 높이별로 분배되어 연소가 일어나게 된다[7,8]. 이때 분배특성은 주입되는 양과 석탄의 입자크기 및 탄종에 따라 달라지게 되며 분배양과 탄종에 따라 각기 다른 연소특성이 나타나게 된다. 이와 같

Table 2. Analyses of Coal Properties

	Anthracite	Bituminous
Desity (kg/m^3)	2460	1410
Proximate analysis (wt %)		
moisture	1.8	6.7
volatile matter	6.5	27.5
fixed carbon	27.0	57.4
ash	64.7	8.4
Ultimate analysis (wt % on dry ash-free basis)		
C	30.0	72.3
H	0.7	4.3
O	4.2	11.7
N	0.3	0.4
S	0.3	0.2
Ash analysis (wt %)		
SiO ₂	53.0	65.5
Al ₂ O ₃	28.2	27.9
Fe ₂ O ₃	2.7	2.2
K ₂ O ₃	3.9	1.4
TiO ₂	1.3	1.5
MgO	1.9	0.4

은 연소특성은 각각 유동층 높이에 따른 압력요동특성치, 온도, 연소가스의 측정으로써 해석이 가능하다. 본 연구에서는 석탄의 회분식 투입에 따른 연소특성해석을 하였으므로 주입초기 석탄이 과잉 공급되므로 연소가스에 의한 해석은 수행하지 않고 압력요동특성치와 온도에 의한 해석만을 수행하였다.

Figure 2는 유동층연소로에 층내물질로 0.715 mm의 균일입자 무연탄 회분을 사용하고 회분식 주입석탄으로 0.715 mm의 균일입자의 무연탄을 주입하였을 때의 층내의 평균압력을 나타낸 그림이다. 유동층에서의 평균압력은 층내의 충전된 입자의 양을 나타내므로 인하여 높이가 증가함에 따라 감소하게 된다. 그러나 그림에서 분산판으로부터 0.025 m와 0.075 m의 평균압력은 거의 동일하게 나타나는데 이는 층의 중상부에 해당하는 위치인 0.075 m 부분에 많은 양의 연소중인 석탄이 존재하기 때문에 나타나는 현상이다. 연소중인 석탄은 가스 격막을 갖게 되며, 이러한 가스격막으로 인하여 실제 입자크기보다 큰 입자의 특성을 나타내게 되므로 인하여 평균압력이 증가하게 된다. 또한 초기의 압력의 증가가 전체에 걸쳐 나타나고 있다. 이는 입자의 연소시 가스 격막과 더불어 입자에서의 가스의 방출이 일어나므로 인하여 평균압력이 증가되어 나타나는 현상이다. 이와 같은 연소 현상을 온도에 대하여 고찰하여 Figure 3에 나타내었다. Figure 3의 실험조건은 Figure 2의 실험조건과 동일하다. 본 실험에서 온도변화에 따른 연소특성을 해석하기 위하여 유동층연소로는 온도조절기를 사용하지 않고 일정한 전류를 층의부 열선에 공급하여 등온상태로 유지하였다.

층의 높이에 따른 온도특성을 고찰하면 층하부의 온도가 낮게 나타나고 있다. 이는 유동층에 공급되는 공기 온도가 유동층의 온도보다 낮으므로 인하여 약 30~50 °C 정도의 차이를 나타내는 것으로서 최하부를 제외하고는 회분입자만의 유동화시 충전체의 온도는 거의 동일하게 나타나고 있다. 시간에 따른 온도를 살펴보면

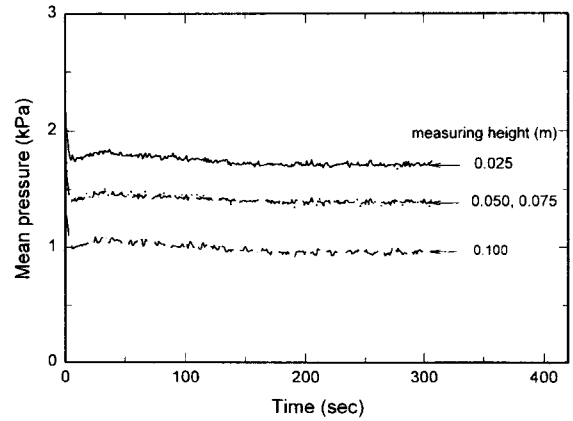


Figure 2. Mean pressure with measuring height for anthracite (feeding coal - d_p : 0.715 mm, in bed material - d_p : 0.715 mm).

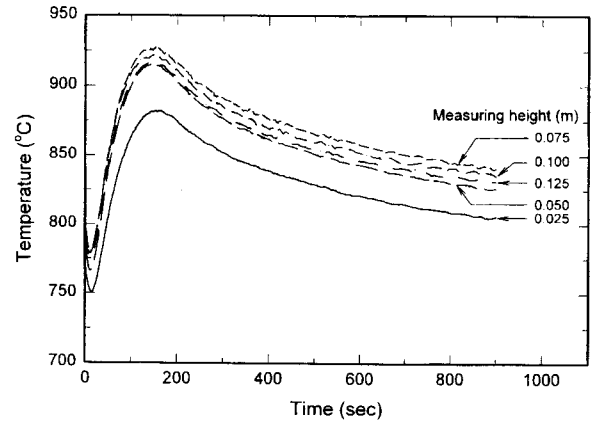


Figure 3. Temperature profile with time at each measuring height above distributor for anthracite(feeding coal - d_p : 0.715 mm, in bed material - d_p : 0.715 mm).

초기에 유동층의 온도는 800 °C를 유지한 상태에서 석탄의 투입에 따라 온도가 감소되고 투입된 석탄으로 열전달이 일어나 석탄의 착화온도까지 상승하게 되면 석탄의 착화가 일어나 온도가 상승하게 된다. 또한 석탄의 가연성분의 연소가 종결됨에 따라 천천히 온도가 하강하게 된다. 이때의 온도곡선상에서 최소온도를 나타내는 시간으로부터 새로 주입된 석탄시료의 연소가 일어남을 알 수 있으므로 최소온도를 나타내는 시간을 착화점으로 해석할 수 있다. 또한 최대온도를 나타내는 시간을 대부분의 가연성분의 연소가 진행된 전체 연소시간으로 사용할 수 있다. 최대점 이후에는 석탄내의 미연분의 연소가 일부 진행하며 층내의 층내물질과 유동층의 비열에 의한 열 손실로 인하여 서서히 감소되는 것으로 해석할 수 있다. 또한 그림에서 착화시간과 연소 완결시간 사이의 구간에서 급격한 온도의 증가가 발생하게 되며 이때의 증가율을 이용하여 무연탄과 무연탄의 혼합비율 및 석탄의 입자크기 및 층내물질에 따른 연소특성을 해석하고자 하였다. Figure 4는 무연탄 혼합에 따른 유동층의 온도 증가율을 각 측정 높이에 대하여 나타낸 그림이다. 무연탄의 혼합에 따라 증가율이 감소함을 나타내고 있다. 이는 무연탄의 활성화에너지가 무연탄보다 크고 연소속도가 크기 때문에 나타나는 현상으로 Table 3에 표기된 무연탄 혼합에 대한 활성화에너지에서 알 수 있다. Table 3의 활성화에너지는 Coat와 Redfern[9]이 제시한 방법으로 구하였다. 층하부인 분산판으로부터

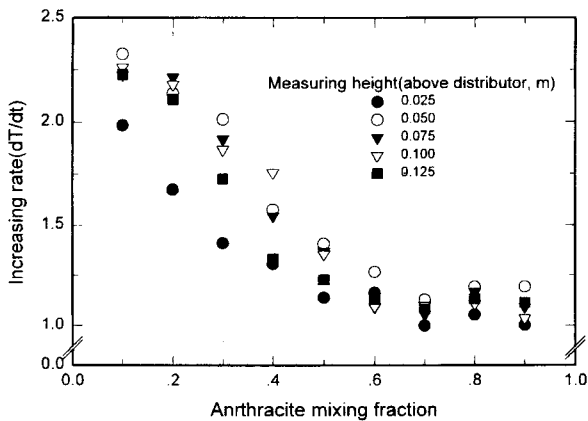


Figure 4. Temperature increasing rate according to mixing of anthracite(feeding coal: multi-particle, in-bed material uniform 0.715 mm).

Table 3. Activation Energy and Ingition Time of Mixing Coal

Mixing fraction of anthracite coal	0	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	1.0
Activation energy (kcal/mol)	18.24	18.32	17.82	21.72	22.26	31.14	38.20
Ingition time (sec)	90	73	93	110	133	148	142

0.025 m인 지점에서의 증가율은 무연탄의 혼합율이 증가함에 따라 층의 다른 지점과 유사하게 나타나고 있다. 이러한 현상은 무연탄과 유연탄의 연소영역의 차이로부터 기인된 것으로 상대적으로 하부에서 연소되는 무연탄의 양이 증가함에 따라 연소영역이 층하부로 넓어지므로 인하여 발생하는 현상이다. 그림에서 증가율은 무연탄의 혼합비가 70%까지는 감소하고 이상의 혼합비에서는 감소가 일어나지 않는다. 따라서 유연탄과 무연탄의 혼합연소시의 무연탄의 혼합비는 최대 70%이상이어야 만이 유연탄에 의한 연소속도의 상승효과를 나타낼 수 있음을 알 수 있다. 무연탄의 혼합에 따른 최대 온도 도달시간을 Figure 5에 나타내었다. 그림에서 무연탄의 혼합비의 증가에 따라 최대온도 도달시간이 길어지게 됨을 알 수 있다. 또한 층하부가 최대온도 도달시간이 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 상대적으로 활성화에너지가 크고 회분의 함량이 높은 무연탄의 주입이 증가함에 따라서 연소속도가 늦어지게 되고 층내의 온도 증가율이 낮아지므로 인하여 발생하는 현상이다. Figure 4에서 무연탄의 혼합비가 70% 이상인 영역에서는 증가율이 일정하게 나타나고 있지만 최대온도 도달시간은 길어지게 된다. 이는 증가율이 발화시간과 최대온도를 나타내는 시간으로써 표기한 것이므로 최대온도의 차이에 기인한 것으로써 최대온도 값의 차이로 인하여 발생하는 것이다. 즉 무연탄의 늦은 연소속도와 미반응모델로 연소되는 무연탄의 일부 탄소가 매우 느린 연소속도를 나타냄에 따른 것으로 해석할 수 있다.

3.2. 층내물질 및 투입석탄 입자크기의 영향

층내물질의 크기와 투입된 석탄의 크기에 따른 연소특성을 고찰하기 위하여 0.715 mm의 균일입자와 0.359 mm의 균일입자 및 1.16 mm 이하의 평균입자크기 0.203 mm인 다입자계의 무연탄 회분을 층내물질로 사용하여 동일한 3개의 무연탄 입자군에 대하여 회분식 실험을 수행하여 온도증가 기울기를 구하여 Figure 6에 나타내었다. Figure 6에서 각기 입자군의 조합에 대하여 층높이에 대

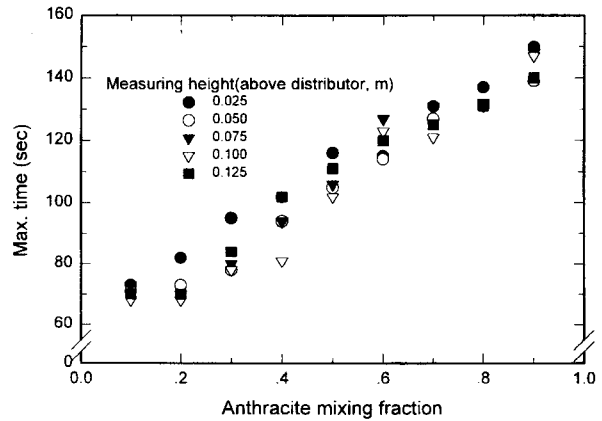


Figure 5. Arrival time to maximum temperature according to anthracite mixing fraction(in-bed material size: 0.715 mm).

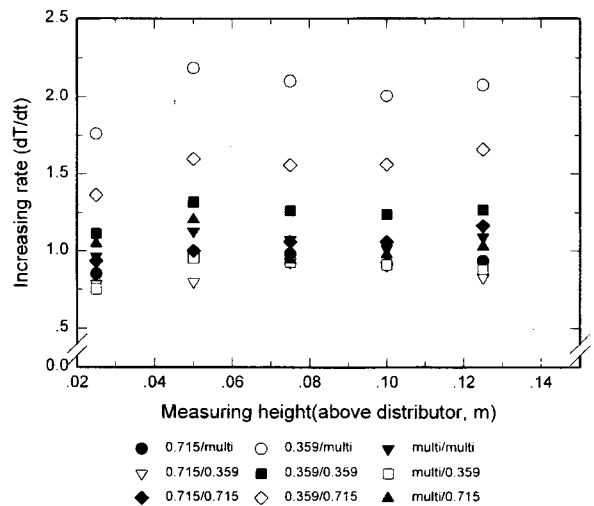


Figure 6. Temperature increasing rate according to particle size of feeding coal and in-bed material for anthracite.

하여 다른 기울기를 나타내고 있다. 이러한 현상은 층내의 입자군에 따른 유동화특성의 영향으로 발생한 변화와 각 석탄입자의 물리화학적 특성에 기인한 것이다. 석탄시료에 대하여 살펴보면 입자 크기 증가에 따라 ash-layer의 확산저항이 증가되고 열전달속도가 낮아지므로 반응속도가 느리게 나타난다[10,11]. 따라서 0.359 mm의 입자가 상대적으로 큰 값을 나타내고 있다. 큰 입자의 경우 연소시 발생하는 자체부력이 작은 입자에 비하여 작다. 반응이 없는 유동층에서 이성분계 이상의 입자군에서는 축방향으로 발생하는 분리현상[12,13]이 본 계와 같이 가스필름을 형성한 연소가 일어나는 경우에 더 크게 나타난다. 일반적으로 유동층에서 분리현상이 발생함에 따라 층내의 기포 거동이 바뀌게 되고 하부와 상부가 다른 거동을 나타내게 된다. 그러므로 분산관으로부터 높이에 따른 온도증가 기울기가 각기 다른 값을 나타내게 된다. 유동층에서 유동화gas는 plug flow 흐름이며, 유동화매질은 mixed flow로 간주된다[1]. 그러므로 반응이 없는 경우 유동화기체가 300 °C로 예열된 상태로 반응기에 주입되므로 층높이의 증가에 따라 하부에서는 약간 증가하는 경향을 나타내게 된다[14]. Figure 6에서도 하부에서는 약간의 증가가 모든 경우에 나타나고 있다. 사용된 입자나 층내 유동화매질의 크기와 이들의 조합에 따른 증가 기울기 값의 차이는 유동화특성 변화에 의한 것으로써 다음과 같이 설명될 수 있다.

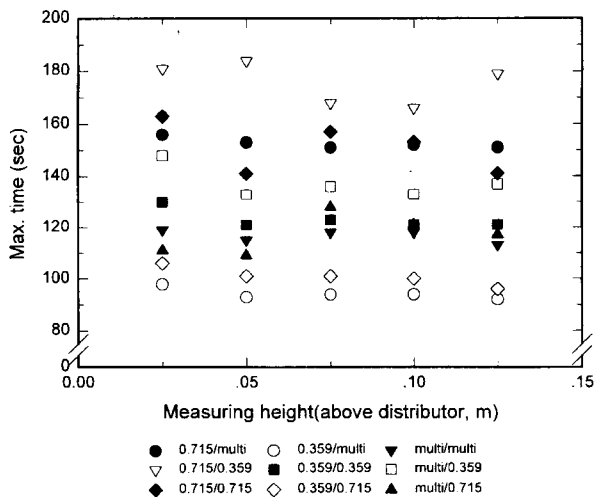


Figure 7. Arrival time to maximum temperature according to feeding particle size and in-bed material size for anthracite.

층내 유동화매질과 투입석탄의 크기나 분포가 동일한 경우 다른 경우에 비하여 층내의 증가폭선의 기울기 값이 축방향으로 동일하게 나타나고 있다. 이는 투입되어 연소되고 있는 석탄과 층내의 유동화매질의 혼합상태가 양호하여 층내가 균일하게 나타나는 현상으로 사료된다. 유동화매질보다 투입된 석탄의 크기가 큰 경우에는 층 하부의 기울기값이 가장 크게 나타나고 있다. 이는 일반적으로 유동층에서 석탄의 연소는 상부에서 일어난다는 결과[10,11]와는 다르게 무연탄의 경우 축방향으로 분리가 일어난 상태에서 연소가 일어나고 있음을 나타내주는 결과이다. 본 실험에서 사용한 무연탄의 경우 발열량이 2010 kcal/kg으로써 저품위 고회분 무연탄이며 휘발분 함량이 1.8%로 매우 낮으므로 유연탄과 같은 가스분출은 없으므로 인하여 이러한 연소현상이 일어나는 것으로 사료된다. 유동화 매질과 투입석탄의 입경차에 따른 증가율의 변화는 유동층의 기포거동에 의한 특성으로 사료된다. 유동층의 유동화매질이 커짐에 따라 층내의 초기기포크기가 증가하고 기포양이 작아지므로 emulsion 상으로 통과하는 기체의 양이 증가하게 된다. 따라서 유동층내의 물질전달이 더욱 우수하여, 그림에 나타난 바와 같이 동일한 석탄에 대하여 유동화매질의 크기가 증가함에 따라 증가율이 증가되는 것으로써 해석할 수 있다. 이와 같은 해석은 Figure 7에 나타난 최대온도에 도달하는 시간에서도 알 수 있다. 전체의 발열량은 동일하지만 연소속도에 의하여 증가율 값은 변화하므로 증가율 값과 연소시간은 등온조건에서 실험하였으므로 반비례하여야 한다. 따라서 Figure 6과 7의 결과를 비교하면 저품위 무연탄의 연소특성에 대한 해석이 적용 가능함을 알 수 있다. 무연탄에서 실험한 조건과 동일하게 유연탄에 대하여 실험하여 Figure 8에 나타내었다. 유연탄의 경우 다입자계의 증가율 값이 작게 나타나고 있다. 이는 유연탄의 경우 많은 양의 휘발분이 방출됨에 따라 층상부로 이동하고 특히 미세입자의 경우 층외부로 유출되므로 인하여 나타나는 현상이다. 무연탄의 경우와 같이 균일 입자계의 층물질을 충전하였을 때 층내물질의 크기가 큰 경우 더 높은 값을 나타낸다. 층내물질이 다입자계인 경우 층 영역이 균일입자계보다 크고 층물질의 분리로 인하여 높은 증가율을 나타내고 있음을 알 수 있다.

유동층연소소에서 고품위 저회분 유연탄과 저품위 고회분 무연탄의 연소시 층내의 연소입자의 축방향의 주 체류 위치에 따라 연소영역의 변화가 있으며, 연소영역의 변화와 유동층내의 입자의 거동특성에 의한 연소속도에 연소특성이 지배됨을 알 수 있다.

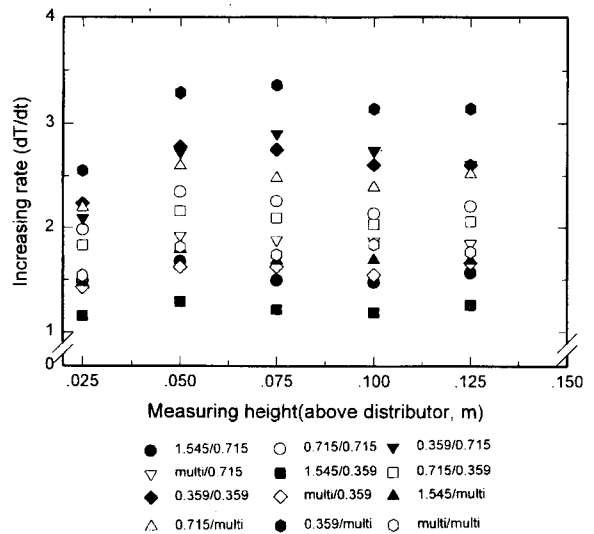


Figure 8. Temperature increasing rate with bed height for bituminous coal size.

4. 결 론

유동층연소소에 유연탄과 무연탄의 회분식 투입법에 의한 연소 특성실험으로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 저품위 고회분의 무연탄의 경우 연소시 연소현상에 의한 영향보다 유동화 특성에 의하여 연소특성이 지배됨을 알 수 있었다.
- 2) 층내 유동화매질의 입자크기가 증가함에 따라 기포의 크기와 빈도수가 감소하고 emulsion상으로의 기체흐름이 증가하며 입자의 순환속도가 감소하고 연소속도가 빨라짐을 알 수 있었다.
- 3) 유연탄과 무연탄의 혼합연소시 연소특성은 유연탄 입자에 의하여 지배되며, 연소특성에 영향을 미치지 않고 연소시킬 수 있는 유연탄과 무연탄의 최적 혼합비는 무연탄 30% 이하임을 알 수 있었다.

사 용 부 호

f	: frequency	[Hz]
G _x (f)	: power spectral density function	[kPa]
h	: bed height	[m]
p	: pressure	[kPa]
R _x (τ)	: auto-correlation function	[kPa]
U	: superficial gas velocity	[m/sec]
μ _x	: mean pressure	[kPa]
T	: observation time	[sec]
S.D.	: standard deviation	[kPa]
t	: time	[sec]
X(t)	: time history pressure at time t	
τ	: time	[sec]

참 고 문 헌

1. I. Tanaka, H. Shinohara, H. Hirose, and Y. Tanaka, *J. of Chem. Eng. of Japan*, 5, 51(1972).
2. T. Kato and C. Y. Wen, *Chem. Eng. Sci.*, 24, 1351(1969).
3. D. C. Fee, W. I. Wilson, K. M. Myles, and I. Johnson,

- Chem. Eng. Sci.* **38**, 1917(1983).
4. W. S. Freeman and B. Carroll, *J. Phys. Chem.*, **62**, 394(1958).
 5. G. R. Cooper and C. D. McGillem, "Probabilistic Methods of Signals and System Analysis", Holt, Rinehart and Winston Inc.(1971).
 6. J. S. Bendart and A. G. Piersol, "Random Data", John Wiley, New York(1971).
 7. D. Park, O. Levenspiel, and T. J. Fitzzyerald, *Fuel*, **60**, 295 (1981).
 8. W. Poersch, R. Bahnen, and R. Wagner, *10th Int. Conf. on Fluidized Bed Combustion*, Atlanta GA, April, 1175(1988).
 9. A. W. Coats and J. P. Redfern, *Nature*, **201**, 68(1964).
 10. D. Geldart, *Trans. Inst. Chem. Eng.*, **57**, 267(1979).
 11. J. D. Hazlett and M. A. Bergougnou, *Powder Technol.*, **70**, 99(1992).
 12. S. Chiba, T. Chiba, A. W. Nienow, and H. Kobayashi, *Powder Technol.*, **22**, 255(1979).
 13. S. Chiba, A. W. Nienow, T. Chiba, and H. Kobayashi, *Powder Technol.*, **26**, 1(1980).
 14. S. C. Hong, B. L. Cho, D. S. Doh, and C. S. Choi, *Powder Technol.*, **60**, 215(1990).