

내부순환유동층에서의 석탄 가스화 반응 특성

김용진, 이종민, 김상돈
한국과학기술원 화학공학과

Coal Gasification characteristics in an Internally Circulating Fluidized bed

Y. J. Kim, J. M. Lee and S. D. Kim
Dept. of Chemical Engineering, KAIST, Taejeon, Korea

요약

내경 0.1 m, 높이 0.9 m 의 draft tube 를 갖는 직경 0.3 m, 높이 2.7 m 인 내부순환유동층가스화 반응기에서 생성가스분리대를 설치하여 가스화구역에서 생성된 생성가스를 분리하여 중열량가스를 얻었다. 석탄공급량 4.3 - 8.6 kg/hr, O_2/C 의 비 0.25 - 0.325, H_2O/C 의 비 0.75 - 1.35 의 조업변수 변화조건에서 생성가스의 조성 및 발열량이 측정되었다. 반응 온도가 증가함에 따라 H_2 와 CO 가 증가하고 CO_2 와 N_2 는 감소하여 생성가스 발열량이 10 - 11.5 MJ/m³ 으로 증가하였다.

서론

석탄가스화를 위해 유동층 가스화반응기가 많이 사용되고 있으나 입자 비산 및 반응가스 손실이 큰 단점이 있다. 따라서 이러한 단점을 보완하기 위해 유동층내에 draft tube 를 넣어 입자를 순환시켜 석탄입자의 체류시간을 증가시켜 반응기의 효율을 향상시키고 반응구역을 연소구역과 가스화구역으로 나누어 조업하므로 생성가스를 분리할 수 있어 양질의 가스를 얻을 수 있다 [1,2,3].

연소 구역으로 주입되는 공기가 가스화구역으로 bypassing 됨에 따라 가스화구역에서 공기에 의한 석탄연소가 문제가 된다. 이러한 bypassing 을 줄이기 위해 draft tube 와 distributor 사이의 간격(gap height)을 없애고 draft tube 를 orifice 형태로 바꾸어줌으로써 가스의 bypassing 을 줄였고 생성가스 분리대를 설치하여 생성가스를 분리해 중열량가스를 얻을 수 있다.

이에 본 연구에서는 4 개의 0.03 m orifice 가 있는 내경 0.1 m, 높이 0.9 m 의 draft tube 를 갖는 직경 0.3 m, 높이 2.7 m 인 내부순환유동층반응기에 생성가스 분리대를 설치하여 연소구역과 가스화 구역에서 생성된 가스를 분리해 중열량가스를 얻고 반응 온도, O_2/C 의 비, H_2O/C 의 비가 생성가스의 조성 및 생성가스 발열량에 미치는 영향을 알아본다.

실험

본 연구에 사용된 draft tube 를 갖는 내부순환유동층 반응기의 개략도를 Fig.1 에 나타내었다. 전체공정은 가스화반응기를 중심으로 석탄주입부, 공기주입부, 수증기주입부, 비산입자 포집부, 생성가스 정제부로 구성되어 있다.

공기는 공기필터, 압력조절기를 거쳐 유량계에서 유량을 조절한 후 draft tube 로 주입되고 최대용량 16 kg/hr 의 스팀발생기에서 생성된 수증기는 니들 밸브로 유량을 조절하여 오리피스유량계를 거쳐 annulus 로 주입하였다.

가스화반응기의 주탑은 0.3 m I.D. x 2.0 m H 의 SUS 316 pipe로 제작하였고 주탑의 중앙에는 draft tube를 설치하였다. 주탑 부분에는 회분배출관, sight

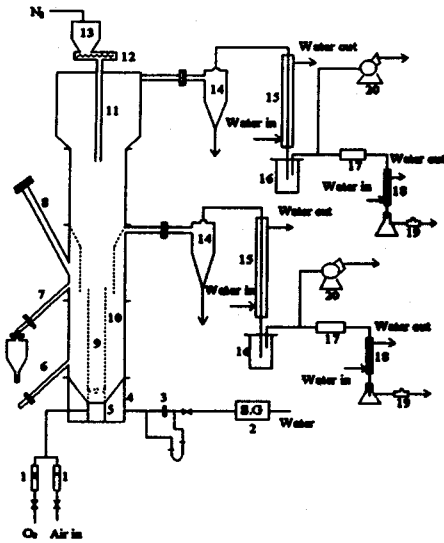


Fig.1 Schematic diagram of the fluidized bed gasifier.

1. flow meter, 2. steam generator, 3. orifice meter, 4. air plenum
5. distributor, 6. bed drain, 7. overflow drain, 8. view port
9. draft tube, 10. main body, 11. freeboard, 12. screw feeder
13. coal hopper, 14. cyclone, 15. condenser, 16. collector
17. dust filter, 18. condenser, 19. gas sampling bottle, 20. LD fan

프로 제작되었다. 프리보드 상부에는 반응기 내부로 석탄을 공급하기 위해 석탄 주입부가 설치되어있다. 반응기로부터 비산된입자를 포집하기 위해 프리보드 다음에 싸이클론을 설치하였다. 싸이클론을 통과한 생성가스는 냉각기 및 공기예열기를 지나 생성가스의 배출을 원활히 하기위해서 설치된 LD Fan 을 통해 밖으로 배출된다. 채취된 생성가스는 GC 로 분석한다.

시료로 1 - 5 mm 사이의 입도를 갖는 호주산 역청탄을 사용하였고 그 특성과 조업변수 및 영역을 Table.1 과 Table.2 에 나타내었다.

Table.1 Typical analysis of Australian coal(Blairathol)

Proximate analysis	wt %	Ultimate analysis	wt %
Moisture*	7.58	C	61.82
Volatile Matter	29.12	H	4.57
Fixed Carbon	56.01	O	7.96
Ash	14.87	N	2.23
		S	0.72
		Heating value(cal/g)	6142

Table.2 Operating variables and their ranges

Variables	Range
Coal feed rate (kg/hr)	4.3 - 8.6
Bed Temperature (°C)	785 - 900
O ₂ /C ratio	0.25 - 0.33
H ₂ O/C ratio	0.75 - 1.35

glass 등이 설치되었고, 각 부위의 압력과 온도를 측정하기 위한 측정관들을 측방향으로 설치하였다. 층내의 상태와 압력을 측정하기 위해 총 10 개의 압력탭이 측방향으로 설치되었고 반응기내부의 온도측정을 위해 15 개의 K-type 열전대를 설치하였다. Draft tube 상부에 깔때기 형태의 분리대를 설치하여 가스화 구역에서 생성된 가스를 연소구역에서 생성된 가스와 분리하였고 각각 가스를 분석하였다. 반응기의 외벽에는 석탄의 착화온도 (450 - 500 °C) 까지 반응기를 가열하기 위해 총 20 kW 의 간탈선 전열기를 설치하였다. 반응기 외벽로부터 열손실을 줄이기 위해서 단열재인 kao-wool 을 사용하여 단열하였다. 프리보드 부분은 비산유출을 줄이기위해 0.45 m I.D x 0.48 m H 의 SUS 파이프

결과 및 토론

Fig.2 는 반응 온도가 annulus 생성가스 조성에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 반응 온도가 증가함에 따라 N_2 , CO_2 는 감소하고 H_2 와 CO 는 증가하며 CH_4 는 크게 변하지 않는 경향을 보이고 있다. 반응 온도가 증가함에 따라 흡열반응인 수성 가스화 반응이 촉진되어 CO 와 H_2 의 함유량은 증가하게 되나, 반면에 CO_2 가스화 반응의 증가와 수성가스 전환반응이 역반응 쪽으로 진행되어 CO_2 함유량은 감소한다.[4,5] 또한, 온도가 증가함에 따라 생성되는 가스량이 증가하여 전체 성분중 N_2 가 차지하는 비율은 감소하게 된다. Fig.3 은 반응 온도가 생성가스 발열량에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 반응 온도가 증가함에 따라 가스화구역 생성가스의 발열량은 10에서 $11.5 MJ/m^3$ 으로 증가하는 경향을 보이고 있다. 이는 같은 석탄을 사용한 유동층가스화반응기의 생성가스 발열량 $3-3.5 MJ/m^3$ 보다 높고, gap height 형태의 내부순환유동층가스화반응기의 가스화구역에서의 발열량 $7 MJ/m^3$ 보다도 더 높은 값이다. 이것은 draft tube 로 공급되는 산소의 농도가 38%로 공기보다 높고 연소구역에서 가스화구역으로 bypass되는 산소가 gap height형태보다 작기때문인 것으로 보인다. Fig. 4 는 O_2/C 의 비가 0.25에서 0.325 까지 변할때 생성가스 조성에 미치는 영향을 나타낸 것이다. O_2/C 가 증가함에 따라 H_2 는 급격히 감소하였고 CO_2 는 증가하는 경향을 보이고 있다. CO 와 CH_4 는 조업변수 영역에서 큰 변화를 보이지 않음이 관찰되었다. 이것은 O_2/C 의 비가 증가함에 따라 촉의 완전연소 반응이 증가하여 CO_2 는 증가하고, 아울러 가스화반응에서 생성된 H_2 의 산화 반응이 일어나 H_2 가 감소하기 때문이다.[4,5] CO 는 CO_2 의 증가로 가스화구역에서 CO_2 가스화 반응이 증가하여 증가하는 것과 생성된 CO 의 연소에 의해 감소하는 것 때문에 거의 일정한 값을 가진다.

결론

온도가 증가함에 따라 가스화 구역에서 가스화 반응의 증가로 H_2 와 CO 가 증가하여 10 에서 $11.5 MJ/m^3$ 의 중열량가스를 얻을 수 있었다. O_2/C 가 증가함에 따라 H_2 와 CH_4 는 감소하고 CO 와 CO_2 는 증가하여 생성가스 발열량은 감소한다.

참고문헌

1. Judd, M.R. and Rudolph, V., Proc. Int. Fluidization V Conference, 505 (1986)
2. Kim, S.D and Song, B.H., Energy Eng., 2, 1 (1993)
3. Riley, R.K. and Judd, M.R., Chem. Eng. Commu., 62, 151-165 (1987)
4. Bak, Y.C., Yang, H.S., Son, J.E., HWAHAK KONGHAK, 30, 80-83 (1992)
5. P. K. Chatterjee, A. B. Datta and K. M. Kundu, Can. J. Chem. Eng., 73, 204-210 (1995)

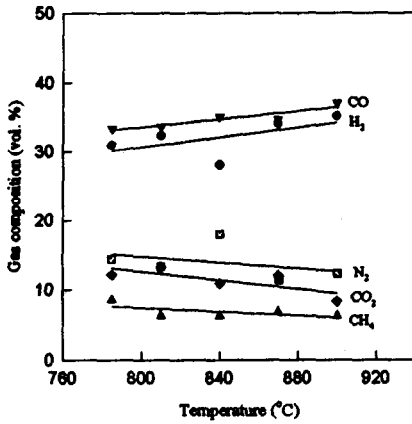


Fig. 2 Effect of reaction temperature on gas composition of the product gas at annulus ($U_a = 10U_{mf}$, $U_s = 1.4U_{mf}$, $Y_{O_2} = 0.38$).

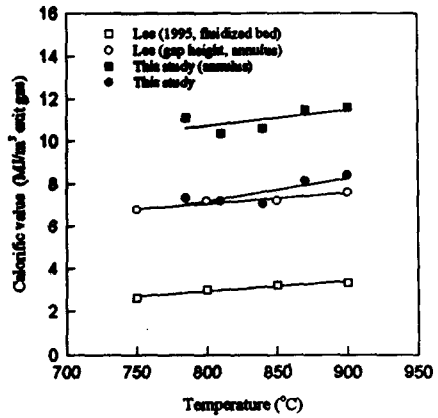


Fig. 3 Comparison of calorific value of the product gas of this and other study with reaction temperature.

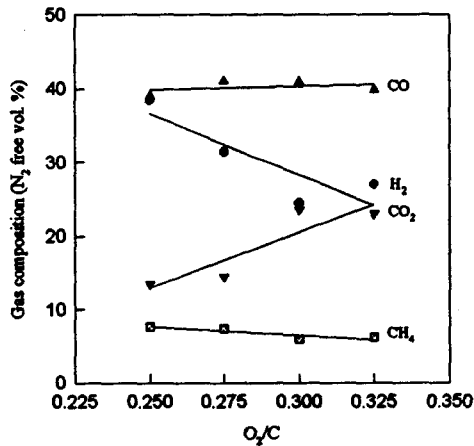


Fig. 4 Effect of oxygen ratio on gas composition of the product gas at annulus ($U_a = 10U_{mf}$, $U_s = 1.4U_{mf}$, $H_2O/C = 0.75$).