

# 유동층 반응기에서의 석탄 가스화 반응 특성

## The Gasification of Coal in a Fluidized Bed Reactor

이 운재, 이종민, 김상돈  
한국과학기술원, 화학 공학과

### 요 약

본 실험에서는 상압 유동층 반응기 (0.1 m-ID x 1.6 m-high) 에서 호주탄의 가스화 반응 특성을 공기와 스팀을 사용하여 살펴보았다. 유동화 속도 (2-5  $u_{mf}$ ), 공기/석탄비 (1.6-3.2), 스팀/석탄비 (0.63-1.26), 그리고 반응 온도 (750 - 900°C) 가 생성 가스의 조성, 발열량, 수율 및 탄소 전환율에 미치는 영향을 고찰하였다. 입자 비산속도는 유동화 속도가 증가함에 따라 증가하였으나, 층온도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었다. 생성가스의 발열량 및 탄소 전환율 그리고 가스 수율은 유동화 속도 및 층 온도가 증가함에 따라 증가하였으나, 발열량은 공기/석탄비가 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었다.

### 서 론

석탄의 액체 또는 기체 연료로의 전환은 앞으로의 에너지 분야에 있어서 매우 중요한 연구 분야이며, 이에 여러 전환 공정이 제안, 발전되고 있다. 현재 이러한 연구 발전 방향은 기존 공정의 성능 향상을 목적으로 한 것과 새로운 형태의 가스화기를 통한 석탄 처리량 및 성능 향상에 목적을 둔 것이 있다. 그러나 석탄에 대한 기본적인 지식의 부족과 실제 반응 조건에 있어서의 반응성 및 반응 kinetics, 그리고 석탄을 반응기 내에 주입하는 공정 및 석탄 취급에 관한 기술, 또한 반응 후의 회 (ash) 의 제거 등등의 여러 복합적인 문제점을 갖고 있는 것이 현실이다. 가스화 공정은 여러 가스화기 형태가 제안, 연구되고 있으나, 그 중에서도 높은 열전달 속도와 기고 접촉이 매우 뛰어난 유동층 반응기가 널리 사용, 연구되고 있다. 이에 본 실험에서는 석탄가스화 생성 가스의 조성 및 수율, 발열량 그리고 탄소 전환율 등에 유동화 속도 (2-5 $u_{mf}$ ), 스팀/석탄비 (0.63-1.26), 공기/석탄비 (1.6-3.2) 및 반응 온도 (750-900°C) 가 미치는 영향에 대한 고찰하였다.

### 실험 장치 및 실험

본 실험에 사용한 유동층 반응기는 직경이 0.1 m 이고 높이가 1.6 m 인 스텐레스강으로 제작된 것으로 Fig. 1 에 나타내었다. 고체 입자는 기포-캡 분산판에 의해 지지되며, 이 분산판은 7 개의 기포-캡으로 이루어져 있어 스팀 및 공기의 분산을 도모하였다. 분산판을 통해 반응기로 주입되는 공기는 유량계로, 그리고 스팀은 Masterflex 로 조절하였으며, 스팀은 열선 (2kW) 을 통해 가열, 주입되었다. 압력 강하를 측정하기 위해 분산판으로부터 0.1 m 높이 간격으로 여덟 개의 압력 탭을 설치하였으며, 축 방향 온도 측정을 위해 여섯 개의 열전대 (K-type) 를 설치하였다. 반응기 벽은 열선 (6kW)을 통해 석탄의 발화온도인 500 °C 이상으로 초기에 가열하였으며, 외부로의 열손실을 줄이기 위해 보온재 (Kaowool) 로 단열하였다. 또한 분산판으로부터 0.5 m 높이의 반응

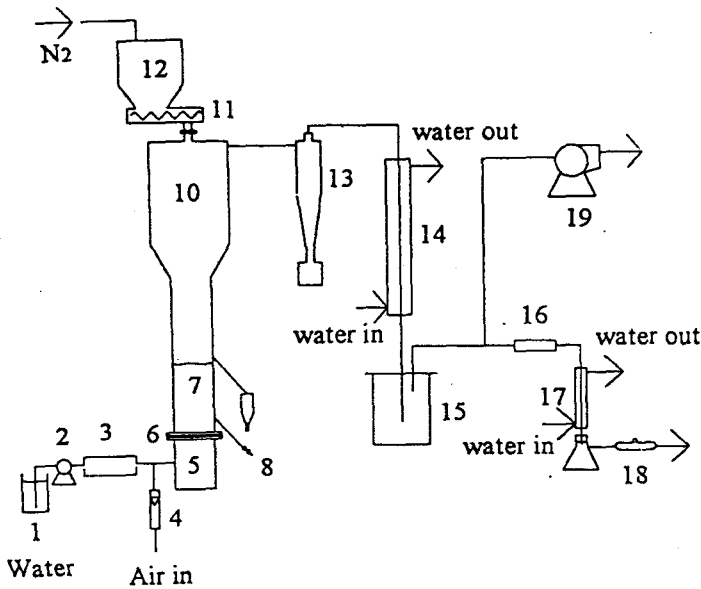


Fig. 1 Schematic diagram of fluidized bed gasifier.

1. water resevoir 2. masterflex pump 3. steam generator 4. air flowmeter 5. air box  
 6. distributor 7. main bed 8. bed drain 9. over flow 10. freeboard 11. screw feeder  
 12. coal hopper 13. cyclone 14. condenser 15. collector 16. dust filter 17. condenser  
 18. gas sampling bottle 19. LD fan

면 생성가스의 채취 및 사이클론에서 비산입자를 포집하며, 채취된 생성가스는Molecular sieve 5A 와 Porapak Q 의 컬럼을 사용하여 GC 로 분석하였다.

시료로 사용된 호주탄의 입자크기는 0.25-1 mm 이며, 그 특성을 Table 1. 에 나타내었다.

Table 1. Analysis of Australian coal

Proximate analysis	wt%, db	Ultimate analysis	wt%, daf
		C	72.6
Volatile matter	40.3	H	5.4
Fixed Carbon	56.0	O	19.0
Ash	14.9	N	2.6
		S	0.4
		Heating value(cal/g)	6141

기 벽에 투시창을 설치하여 실제 반응을 관찰하였으며, 0.45 m 높이에 회 (ash) 의 제거를 위해 배출관을 설치하였다.

석탄은 반응기내로 가면 DC 모터로 조절되는 screw feeder 에 의해 주입되며, 반응기 배출부분에는 사이클론 (0.76 m-ID x 0.304 m-high) 을 설치하여 비산되는 입자를 포집하였다. 가스화 생성 가스는 응축기를 거쳐 냉각시켜, 액체 및 타르 성분을 제거하였다.

실험 초기에는 층 온도를 열선에 의해 450-500 ℃ 까지 공기만을 주입하며 가열하다가, 그 후에 석탄을 주입하여 연소에 의해 원하는 온도까지 도달하면 스팀을 공급한다. 가스화 공정이 정상상태에 도달하

## 결 과 및 고 찰

층온도에 따른 생성가스의 조성을 유동화 속도별로 Fig. 2 에 나타내었다. 비교적  $H_2$  는 온도가 증가할수록 전반적으로 증가하는 경향을 띄었으며, CO 는 낮은 온도영역에서는 감소하다가 점차 온도가 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내었다. 반면에  $CO_2$  는 CO 와 상반되는 결과를 보였으며,  $CH_4$  는 온도 변화에 따라 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 이것은 낮은 온도 영역에서는 연소 반응이 주 반응으로 일어나 생성 가스 중  $CO_2$  의 함량이 큰 것으로 생각할 수 있으며, 온도가 증가함에 따라 가스화 반응 정도가 증가해서 CO 의 함량이 증가하는 것으로 볼 수 있다.

유동화 속도 및 온도에 따른 탄소 전환율을 Fig. 3 에 나타내었으며, 그림에서 볼 수 있듯이 유동화 속도 및 온도가 증가함에 따라 탄소 전환율은 증가하는 경향을 나타내었으며, 이것은 스팀-석탄의 가스화 반응 및 탄소-산소의 연소 반응이 증가했기 때문이다.

또한 층 온도  $850^\circ C$ , 스팀/석탄비 0.63 에서 공기/석탄비가 증가함에 따라  $H_2$ ,  $CH_4$  및 CO 의 감소가 나타났으며, 이것은 산소의 증가로 인해 탄소와의 연소 반응이 증가함과 동시에  $H_2$ ,  $CH_4$  그리고 CO 의 연소반응이 증가했기 때문으로 생각할 수 있다. 이것을 Fig. 4 에 나타내었다. Fig. 5 는  $850^\circ C$ , 공기/석탄비 1.6 에서 스팀/석탄비가 가스 조성에 미치는 영향을 보여주고 있다. 생성가스의 발열량은 스팀/석탄비가 증가함에 따라  $2.5-2.8 MJ/m^3$  로 증가하였으며, 생성가스중  $H_2$  및  $CO_2$  는 증가하는 경향을, 반면에 CO 는 감소하는 경향을 나타내었으며,  $CH_4$  는 거의 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 탄소와 스팀과의 가스화 반응에 의해서  $H_2$  및 CO 가 생성되는 것보다 CO 와 스팀과의 전환 반응에 의해  $CO_2$  및  $H_2$  가 생성되는 것이 우세하기 때문이다.

## 결 론

1. 입자의 비산속도는 유동화 속도가 증가함에 따라 증가하는 반면, 층온도가 증가함에 따라 감소한다.
2. 가스화 생성가스의 발열량, 탄소 전환율 그리고 가스 수율은 유동화 속도 및 층온도가 증가함에 따라 증가한다.
3. 가스화 생성가스의 발열량은 공기/석탄비가 증가함에 따라 감소한다.

## References

1. Saffer, M. O. A. and J. K. Ferrel (1988). Int. Chem. Eng., 28, 46-61.
2. Watkinson, A. P., G. Cheng and C. B. Prakash (1983). Can. J. Chem. Eng., 61, 468-474.
3. Purdy, M. S., R. M. Felder, and J. K. Ferrell (1981). Ind. Eng. Chem. Pro. Des. Dev., 20, 675-682.
4. Geldart, D. (1986). Gas Fluidization Technology, Chap.6., John Wiley & Sons.
5. Lee, W. J. and S. D. Kim (1992). Fluidization VII, ed. O. E. Potter and D. J. Nicklin, Engineering Foundation, New York, 479-486.
6. Herguido, J. J. Corella and J. Gonzalez-Saiz (1992). Ind. Eng. Chem. Res., 31, 1274-1282.
7. Gutierrez, L. A. and A. P. Watkinson (1982). Fuel, 61, 133-138.

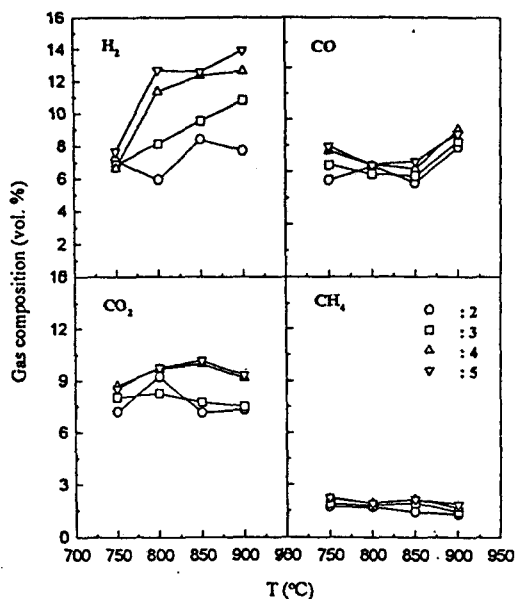


Fig. 2 Effect of gasification temperature on product gas composition at different gas velocity

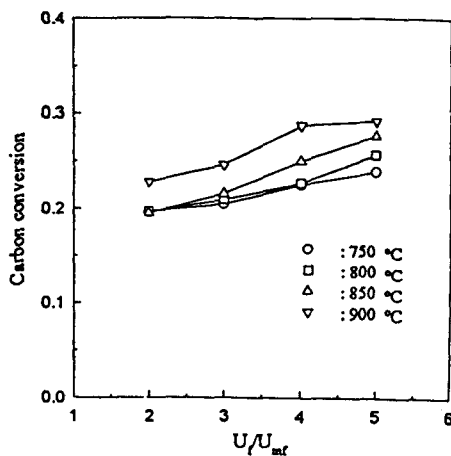


Fig. 3 Effect of fluidization velocity on carbon conversion at different temperature

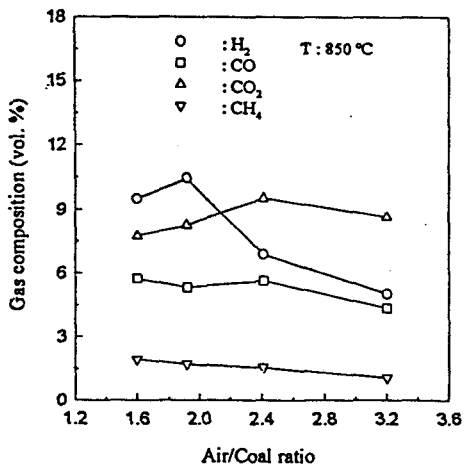


Fig. 4 Effect of air/coal ratio on product gas composition at steam./coal : 0.63

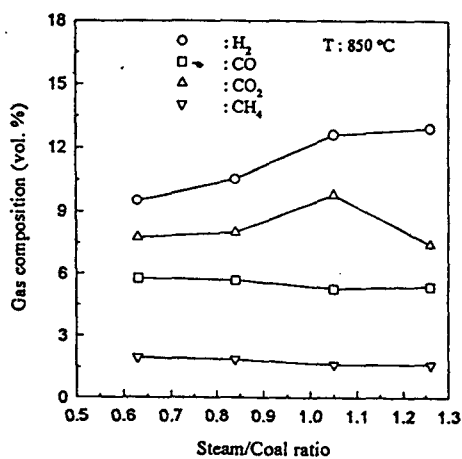


Fig. 5 Effect of steam/coal ratio on product gas composition at air./coal : 1.6