

Draft tube를 갖는 내부순환유동층에서 슬러지/폐타이어 혼합물의 수증기 가스화 반응 특성

송병호*, 김상돈¹

군산대학교 재료화학공학부, 한국과학기술원 화학공학과¹
(bhsong@kunsan.ac.kr*)

Steam Gasification of Sludge/Tire in an Internally Circulating Fluidized Bed with a Draft Tube

Byung-Ho Song*, Sang-Don Kim¹

Department of Chemical Engineering, Kunsan National University, Kunsan, Korea
Department of Chemical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology,
Taejon, Korea¹
(bhsong@kunsan.ac.kr*)

서론

바이오매스인 하수슬러지와 폐기물인 폐타이어로부터 가스화를 통하여 수소를 포함한 연료를 얻을 수 있다. 본 연구에서는 내경 0.15 m, 높이 2.0 m의 내부순환유동층(ICFB) 반응기를 사용하였다. 폐타이어는 screw feeder, 하수슬러지는 모노펌프를 이용하여 반응기내로 공급하였다. ICFB 가스화기에 총 3 kg/h의 슬러지/폐타이어를 공급하면서 반응 온도 650 - 850 °C의 변화에 따른 생성가스의 조성 및 발열량을 조사하였다. 슬러지/폐타이어를 동시에 공급함에 따른 생성가스의 조성 및 발열량, 생성가스의 수율, 탄소전환율 등의 가스화기 성능인자의 변화 특성을 조사한다. 또한 다량의 수분을 함유한 슬러지의 주입에 따른 운전특성을 알아본다.

실험

본 연구에 사용된 bench-scale 가스화반응기는 Fig. 1에 보였으며, 크게 주탑부(0.15 m I.D × 2.0 m high), 반응기체 주입부, 타이어조각과 슬러지 투입부, draft tube, 생성가스 처리부로 이루어져 있다. 주탑부 내부에 위치한 draft tube (0.05 m I.D×0.48 m high)는 하단부에 직경 0.01 m의 오리피스 4개를 갖고 있으며, draft tube 상부에는 깔때기 모양의 가스분리대를 설치하였다. 산소/탄소 비의 조절을 위해 공기가 유량계를 통해 분산판(1.5 mm 구멍 37개)을 거쳐 draft tube로 주입되고, 최대용량 35 kg/h의 스팀발생기에서 생성된 수증기는 깔때기 형상의 분산판(1 mm 구멍 216개)을 통해 annulus로 주입하였다. 반응기의 외벽에 반응기 온도의 조절을 위해 3 kW의 칸탈 열선을 설치하였고 반응기 외벽은 카오울로 단열하였다. 폐타이어는 프리보오드 하부에서 주입한다. 슬러지는 모노펌프로 이송하여 가스화기 상부에서 떨어뜨리는 방법을 사용하였다. 슬러지의 공급량은 펌프의 회전 수 변화용량 한계로 인해 변화를 주지 않았으며 1.46 kg/h로 공급하였다. 반응기로부터 비산되는 미세입자를 포집하기 위해 싸이클론을 설치하였다. 싸이클론을 통과한 생성가스는 냉각기와 포집기를 거친 후 I.D. fan의 도움을 받으며 외부로 배출된다. 배출라인 중에 각각 가스메타를 바이패스 라인으로 설치하였다. 생성가스 중의 일부는 유리섬유 필터를 통과한 후 샘플링펌프의 도움으로 GC로 보내져 성분이 분석된다. 폐타이어 및 하수슬러지의 공업분석치를 Table 1에 보였으며, 가스화실험에 사용된 조업변수를 Table 2에 정리하였다.

Fig.1

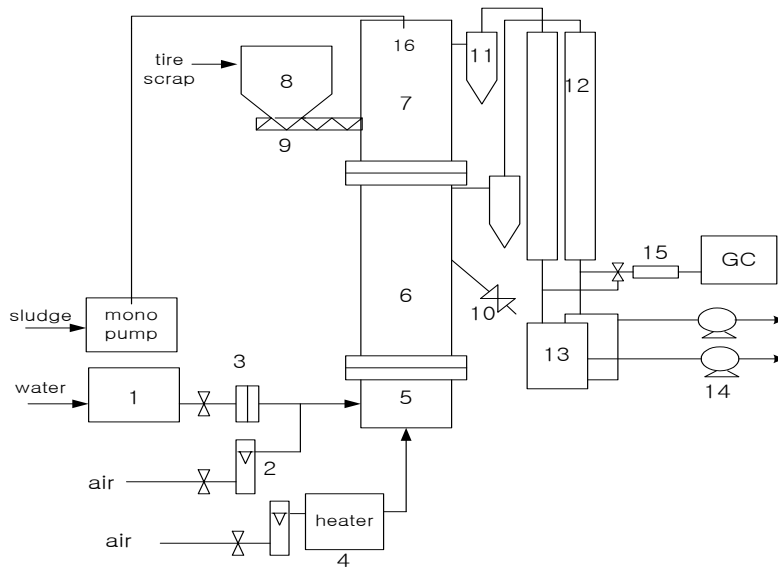


Fig. 6-5. Schematic diagram of the bench-scale ICFB gasifier.

1. steam generator, 2. flowmeter, 3. orifice meter, 4. air preheater, 5. gas plenum, 6. fluid bed main reactor, 7. freeboard, 8. fuel hopper, 9. screw feeder, 10. overflow, 11. cyclone, 12. condensor, 13. collector, 14. I.D. fan, 15. filter, 16. sludge feed point

Table 1. Analysis of coal, tire and sewage sludge (as received basis)

	Waste tire	Sewage sludge
Ultimate analysis, wt %		
Carbon	84.65	34.26
Hydrogen	7.38	1.00
Nitrogen	0.39	5.24
Sulfur	2.11	0
Oxygen*	5.47	0
Proximate analysis, wt %		
Volatile	61.72	6.39
Fixed carbon	33.05	2.29
Moisture	0.70	84.50
Ash	4.53	6.82
HHV, kcal/kg	7,057	3,115*

*calculated

Table 2. Operating variables and their ranges

Variables	Ranges
Feed rate of tire scrap (kg/h)	0.7 - 1.5
Avg. diameter of tire scrap (mm)	0.6 - 1.2
Feed rate of wet sludge, kg/h	1.46
Bed temperature (°C)	650 - 850
Air flow rate to draft, (m ³ /h)	2.2 - 6.6
Air flow rate to annulus, (m ³ /h)	0.85 - 3.74
Steam flow rate, (kg/hr)	0.0 - 1.85

결과 및 토론

반응온도의 변화에 따른 여러 성능인자들의 변화특성을 Fig. 2에 보였다. 우선 페타 이어만 수증기를 넣어서 가스화한 경우 annulus에서 생성되는 가스의 발열량은 온도에 따라 증가하는데 850 °C에서 약 15 MJ/m³으로 그리고 연소구역인 draft tube에서 생성된 가스의 발열량은 4 MJ/m³으로 나타났다. 한편 슬러지를 공급하기 시작하면 그림에서 보듯이 각 구역의 생성가스 발열량은 제법 줄어들어서 5 MJ/m³ 이하로 나타나게 된다. 이는 슬러지의 수분이 반응기내 열량을 흡수하면서 부분적으로 가스화반응이 위축되기 때

문으로 추측된다.

가스화기로 여러 형태의 유동층이 적용되어왔는데, 가스화기의 형태에 따른 생성가스 발열량 데이터를 Fig. 3에 비교하였다. Jeon (1993)은 draft tube하부에 고체의 순환통로로서 gap을 갖는 ICFB에서 석탄을 가스화하였고, Lee (1998)는 내경 0.3 m의 ICFB에서 석탄을 가스화하였다. 일반적인 유동층 반응기나, spout bed에 비해서는 ICFB가 더 나은 발열량을 보인다. 원활한 입자순환으로 석탄입자의 체류시간이 증대되고, 각 구역에서 상부로 상승 배출되는 생성가스들이 섞이는 것을 피하고 적절히 분리함으로써 전형적인 유동층보다 높은 열량을 지닌 가스를 얻을 수 있음을 확인하였다. 고체의 통로로서 gap height 보다는 오리피스 형태가 유리하다. 즉 orifice 통로를 사용하는 경우에는 draft tube로 주입된 연소용 공기가 annulus로 bypassing되는 정도가 크게 감소하므로(Ahn, 1995) 발열량에서 유리하다. 또한 ICFB의 draft tube 연소구역에서의 생성가스 발열량도 일반적인 유동층 또는 spouted bed에서의 발열량과 비슷한 열량을 보였다.

생성가스의 수율(gas yield)의 온도에 따른 변화 역시 Fig. 2에 함께 도시하였다. 생성가스 수율은 draft에서 0.2 - 0.8 m³/kg tire, 그리고 annulus에서 0.2 - 0.6 m³/kg tire으로 나타났으며 수율은 온도에 따라 약간씩 감소하는 경향을 보였다. 이는 반응온도의 증대에 따라 고체연료의 공급을 증대시켰기 때문으로 보인다. ICFB에서의 가스상의 yield가 유동층의 경우보다 높은 값을 나타내는데 이는 내부순환유동층 반응기에서의 경우가 입자 체류시간이 길고, 특유의 입자순환 특성 등의 장점 때문에 유동층 반응기의 경우보다 가스화 반응이 더 활발하게 일어나기 때문이다. 따라서 기존의 유동층 반응기에서보다 내부순환유동층 반응기가 가스화 반응에 더 적합함을 알 수 있다. 반응온도의 증가에 따른 탄소전환율의 경우 반응온도에 따라 열분해반응이 증가하고 가스화반응을 통해 CO가 증대되어 탄소전환율은 40% 이하의 값에서 약간씩 변화하는 것으로 나타나고 있다.

결론

ICFB 가스화기에 총 3 kg/h의 슬러지/페타이어 원료를 공급하면서 반응온도 650 - 850 °C의 변화에 따른 생성가스의 조성 및 발열량을 조사하였다. 슬러지/페타이어를 동시에 공급하면 생성가스의 조성 및 발열량은 페타이어만 단독으로 주입하였을 때에 비해서 감소하였다. 가스화구역의 발열량은 페타이어 공급시 15에서 혼합원료 공급시 5 MJ/m³ 정도로 감소하였다. 생성가스 수율은 반응온도에 따라 약간 감소하는 경향을 보였다. 높은 O₂/C 비에서 탄소전환율은 draft tube쪽에서 50%까지 증가하였다. 본 ICFB 가스화기의 조업을 통해 annulus 가스 배출부에서 미세입자의 비산이 심한 것으로 나타나 장차 미연탄소분의 재순환을 고려할 필요가 있으며, 층내에서 건조과정의 슬러지를 원활하게 분열시키기 위하여 draft tube 하부의 개선이 필요한 것으로 나타났다.

참고문헌

- Ahn, H. S., "Solid Circulation Rate and Gas Bypassing Characteristics in an Internally Circulating Fluidized Bed with Draft Tube", *M.S Thesis*, KAIST (1995).
 Jeon, S. K., " Coal Gasification Charateristics in a Circulating Fluidized Bed with Draft Tube ", *M.S. Thesis*, KAIST, Taejon, Korea (1993).
 Lee, J. M., "Non-catalytic and Catalytic Coal Gasification in an Internally Circulating Fluidized Bed Reactor", *PhD Thesis*, KAIST (1998).

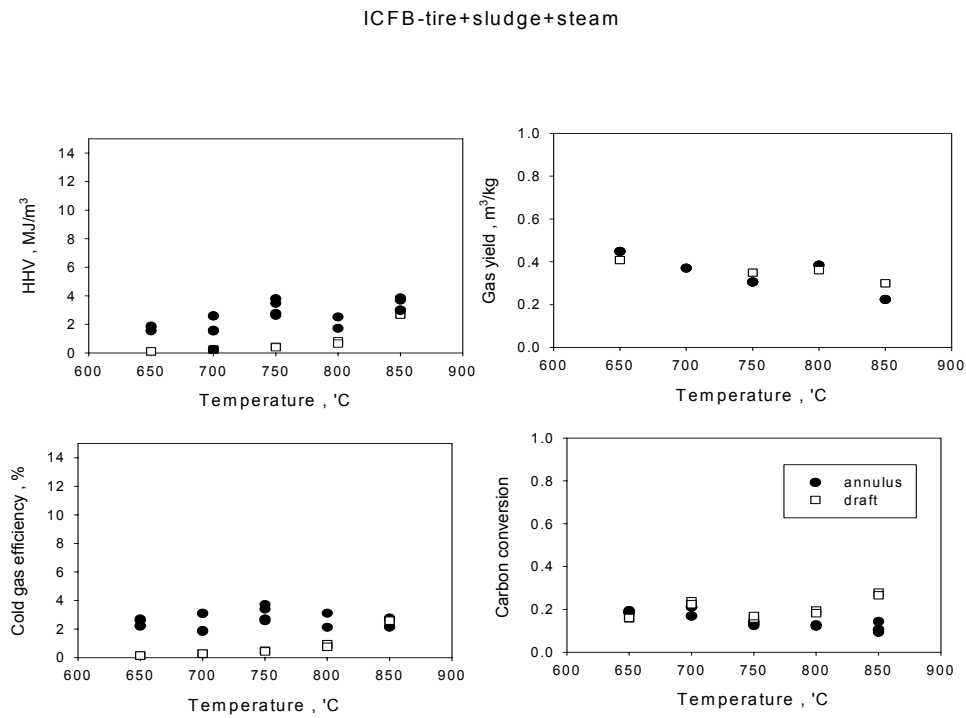


Fig. 2. Performance of gasifier with variation of temperature for sludge/tire feed. (tire feed = 0.77 - 1.1, sludge = 1.46 kg/h, H₂O/C = 1.7 - 4.2, O₂/C = 1.35 - 3.19)

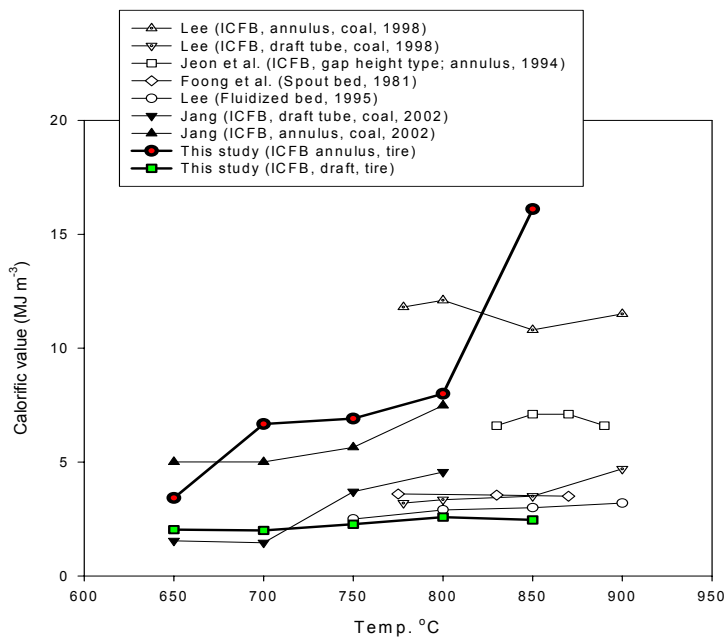


Fig. 3. Calorific value of product gas from various studies of fluid bed gasification.