

드래프트 관을 갖는 내부순환유동층 반응기에서의 페타이어 가스화 공정의 특성 연구

이승엽, 김용전, 김상돈
한국과학기술원 화학공학과

Gasification Process Characteristics of Scrap Tire in an Internally Circulating Fluidized Bed with a Draft Tube

Seung Yup Lee, Yong Jeon Kim, Sang Done Kim
Department of Chemical Engineering, KAIST, TaeJon, Korea

서론

최근 들어 자동차 보유대 수의 급격한 증가와 함께 페타이어의 발생량도 급격히 증가하였다. 페타이어의 발생량이 적었을 때는 매립이나 소각 등의 방법으로 페타이어를 처리해도 별 문제가 발생하지 않았다. 그러나, 페타이어 발생량이 급격히 증가한 요즈음은 발생한 페타이어가 합법적으로 처리되어지지 못하고 야적, 방치, 불법 매립 및 소각 등의 방법으로 처리됨으로써 환경적인 오염뿐만 아니라 시각적 공해, 대기 오염 등의 문제를 심각하게 야기시키고 있다. 페타이어는 발열량 자체로만 보아도 석탄의 발열량 보다 높은 8500 cal/g 으로 에너지 회수 측면으로만 보아도 재활용가치가 크다. 특히 모든 에너지 자원을 수입하는 우리 나라의 경우에 페타이어를 기존의 소각이나 매립 등의 방법으로 처리하는 것은 에너지 및 자원 낭비로 인한 손실이 그 어느 나라 보다 크다. 페타이어를 처리하는 공정^{1,2)}은 여러 가지가 개발되었는데, 본 연구에서는 타 공정보다 많은 장점을 가지는 가스화 공정^{3,4)}을 선택했다.

내부순환유동층 반응기는 단일 용기에 드래프트 관을 삽입함으로써 두 개의 층으로 분리한 후, 두 개의 구역사이로 입자를 순환시켜서 기체와 고체의 적절한 접촉을 통해 반응이 이루어지는 반응기 형태이다.⁵⁾ 내부순환유동층 반응기에서의 페타이어 가스화 공정은 드래프트 관으로는 7-10 U_{mf} 속도로 공기를 주입하여 투입된 타이어를 연소시키는 동시에, 에놀러스 구역으로는 최소 유동화 상태로 수증기를 주입하여 가스화를 수행한다. 이때 가스화 반응에 필요한 반응열은 연소구역으로부터 순환되는 고체 입자 및 드래프트 관으로부터의 열 전달로부터 얻는다. 내부순환유동층 반응기는 그 입자 특성으로 인해 가스화 반응에 많이 이용되던 기존의 유동층 반응기에 비해 미세 입자의 배출을 줄일 수 있을 뿐 아니라 가스화 반응에 필요한 반응열을 연소 구역에서 직접 회수 할 수 있으므로 높은 열 효율을 얻을 수 있다. 그리고, 연소 반응과 가스화 반응을 각각 다른 구역에서 발생시킴으로써, 생성가스 간의 혼합을 막을 수 있으므로 양질의 가스를 얻을 수 있다.

실험 장치

본 실험에 사용한 드래프트 관을 갖는 내부순환유동층 반응기의 개략도를 Fig. 1 에 도시하였다. 전체 공정은 가스화 반응기를 중심으로 타이어 주입부, 공기 주입부, 수증기 주입부,

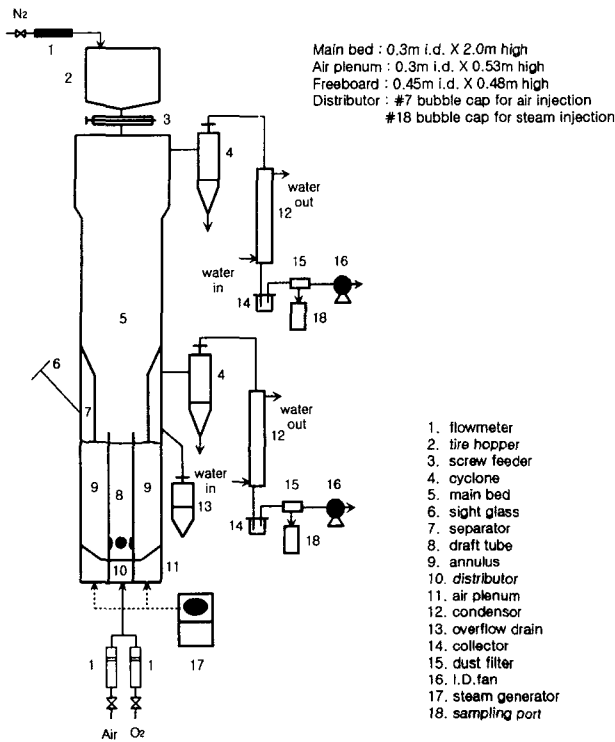


Fig. 1 Apparatus of an Internally Circulating Fluidized Bed

통해 gas bypassing 특성이 좋은 것으로 나타난 conical-tuyer 배열을 사용하였다. 분산판의 드래프트 관 구역에는 7개의 기포 캡을 설치하였고, 에놀러스 구역은 18개의 기포 캡을 설치하여 가스화제에 의한 층 물질의 순환이 원활하게 이루어지게 하였다.

가스화기의 주 탑은 0.3 m i.d.×2.0 m high 의 sus 316 관으로 제작하였다. 주 탑의 중앙에는 상온실험⁷⁾을 통하여 입자순환속도가 가장 좋은 4개의 0.03 m 의 orifice 를 갖는 0.1 m i.d.×0.9 m high 의 드래프트 관을 설치하였다. 주 탑 부분에는 회분 배출관, overflow drain, sight glass 등이 설치되었다. 드래프트 관 상부에는 깔대기 형태의 분리대(0.15 m i.d.)를 설치하여 가스화 구역에서 생성된 가스를 연소구역에서 생성된 gas와 분리하였다. 외벽에는 초기의 페타이어를 연소시키기 위해서 페타이어의 착화 온도까지 반응기를 가열하기 위해 칸탈선을 설치하였다.

프리보드 부분은 입자의 비산 유출을 줄이기 위해 0.45 m i.d. ×0.48 m high 의 sus 316 관으로 제작되었으며, 상부에는 반응기 내부로 주입된 페타이어가 날아가는 것을 줄이기 위해 프리보드 상부로부터 0.6 m 지점까지 페타이어 주입부를 설치하였다. 프리보드 외벽에는 타르의 응축을 방지하기 위해 칸탈선을 설치해 가열하였다.

페타이어 주입부는 프리보드 상부에 설치하였으며, 페타이어 호퍼와 가변속 screw feeder 로 구성된다. 반응기로부터 비산된 입자를 포집하기 위해서 드래프트 관과 에놀러스 구역에 각각 cyclone 을 설치하였고, cyclone 을 통과하는 생성가스는 냉각기와 collector 를 지나 생성가스의 배출을 원활히 하기 위해 설치한 I.D. fan 을 통해 밖으로 배출된다. 생성가스 채취를 위한 sampling port 는 냉각기 이후에 설치하였다.

비산 입자 포집부, 생성가스 정제부로 구성되어있다. 가스화 반응기는 공기와 수증기 plenum, 가스 분산판, 주층 부분, 프리보드로 구성된다.

공기 압축기에서 공급되는 공기는 공기 필터, 압력 조절기를 거쳐 유량계에서 유량을 조절한 후, 공기 plenum 으로 주입하였고, 공급되는 공기의 산소량을 조절하기 위해 유량계를 통해 산소를 첨가하였다. 반응기로 공급되는 수증기는 니들밸브로 유량을 조절한 후 오리피스 유량계를 거쳐 수증기 plenum 으로 주입하였다. 공기 plenum 은 0.3 m i.d.×0.53 m high 의 sus 316 관을 사용하여 제작하였으며, 공기와 수증기가 드래프트 관과 에놀러스 구역으로 각각 독립적으로 주입되도록 하였다. 공기 및 수증기의 예열과 수증기의 응축을 방지하기 위해 외벽에 칸탈선을 장착하여 분산판으로 유입되는 수증기를 350°C 이상으로 유지하였다. 공기 plenum 과 층 부분사이에는 원추형 분산판을 설치하였고, 상온 실험⁶⁾을

결과

$O_2/C=0.31$, $H_2O/C=0.94$ 조건에서 반응 온도의 변화에 대한 가스화 구역의 생성가스 조성을

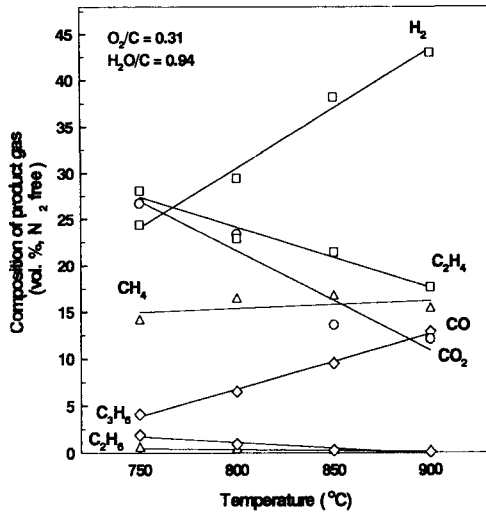


Fig. 2 Effect of reaction temperature on gas composition of the product gas in annulus region

을 나타내었다. 생성가스는 24.52-43.15 % H₂, 4.14-13.40 % CO, 26.78-11.71 % CO₂, 14.07-16.44 % CH₄, 28.01-16.48 % C₂H₄, 0.51-0.18 % C₂H₆, 1.92-0.12 % C₃H₆의 조성을 나타낸다. 반응온도가 증가함에 따라 생성가스 조성 중 H₂, CO, CH₄는 증가하고, CO₂, C₂H₄를 포함한 hydrocarbon은 감소한다. H₂와 CO의 조성이 증가하는 것은 반응온도가 증가함에 따라 수증기 가스화 반응과 열분해 반응이 증가하기 때문이고, CH₄ 조성의 증가는 열분해 반응의 증가 때문이다. 반응온도가 증가함에 따라 발열반응인 완전 연소 반응은 억제되므로 CO₂ 조성은 감소하고, C₂H₄를 비롯한 hydrocarbon의 조성은 반응온도의 증가에 따라서 thermal cracking 반응의 증가로 인해 조성이 감소한다.

Fig. 3에는 반응온도에 따른 생성가스의 발열량을 나타내었다. 반응온도가 750-900°C로 증가함에 따라 생성가스의 발열량은 26.69-22.23 MJ/m³으로 감소하는데 이는 반응온도가 증가하면 생성가스 중 H₂와 CO 조성은 증가하지만, 높은 발열량을 가지는 hydrocarbon의 조성이 감소하기 때문이다. 이는 유동층 반응기에서의 결과와 같은 경향을 나타내는데, 내부순환유동층 반응기에서의 체류시간이 유동층 반응기보다 더 길기 때문에 생성가스의 발열량이 더 높은 값을 나타낸다. 반응온도에 따른 생성가스의 가스 수율은 Fig. 4에 나타내었다. 반응온도가 증가함에 따라 생성가스의 가스 수율은 드래프트 관에서는 0.572-0.761 m³/kg tire, 에놀러스 구역에서는 0.382-0.490 m³/kg tire으로 전체 생성가스 수율은 0.954-1.251 m³/kg tire의 값을 가진다. 반응온도가 증가함에 따라 생성가스 수율이 증가하는데, 이는 반응기내에서 발생하는 열분해 반응과 가스화 반응의 증가로 인한 생성가스의 증가 때문이다.

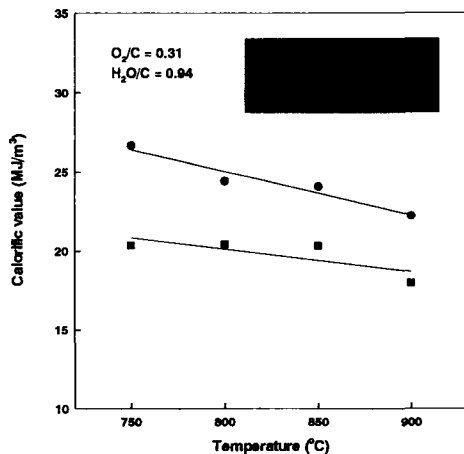


Fig. 3 Effect of reaction temperature on calorific value of the product gas

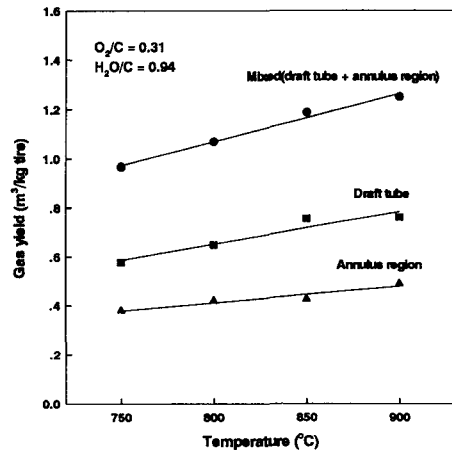


Fig. 4 Effect of reaction temperature on gas yield of the product gas

Fig. 5 에는 반응온도 880-900°C, H₂O/C=0.94 조건에서 O₂/C 비에 대한 가스화 구역의 생성가스 조성을 나타냈다. O₂/C 비가 증가하면 반응기내에서의 H₂ 와 CO 의 재연소 반응이 증가하고, 불완전 연소 반응의 감소로 인해 생성 가스 조성 중 H₂ 와 CO 의 조성은 각각 43.15-31.80 % H₂, 13.40-11.11 % CO 로 감소하고, 완전연소 반응은 증가하므로 CO₂ 의 조성은 11.71-27.93 % CO₂ 로 증가한다. CH₄를 비롯한 hydrocarbon 은 공급되는 O₂/C 비가 증가함에 따라 반응기내에서의 재연소 반응이 증가하게 되므로 조성이 감소한다.

Stema/C 비에 따른 가스화 구역의 생성가스 조성을 Fig. 6 에 도시하였다. Steam/C 비가 증가해도 생성 가스의 조성은 CO 조성이 약간 증가하는 것 이외에는 영향을 받지 않았다.

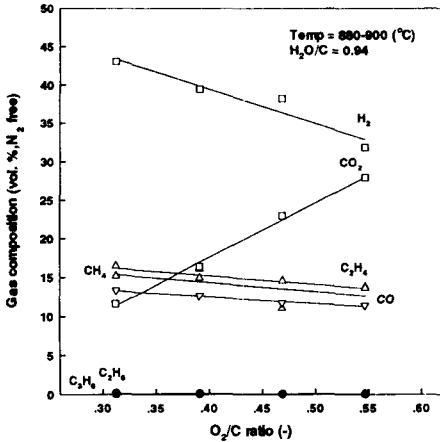


Fig. 5 Effect of O₂/C ratio on gas composition of the product gas in annulus region

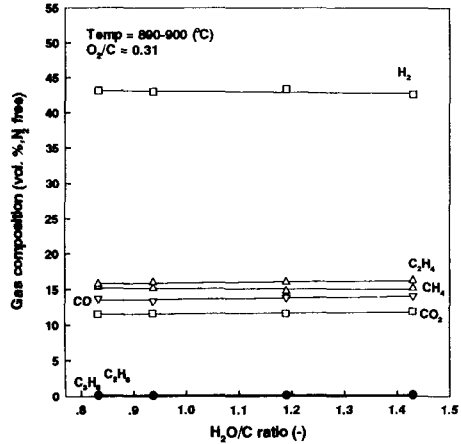


Fig. 6 Effect of H₂O/C ratio on gas composition of the product gas in annulus region

참고문헌

1. Barbooti, M. M., Hassan, E. B., and Issa, N. A., *Petroleum Res*, **8**, 229 (1989)
2. Kawakami, S., Inoue, K., Tanaka, H., Sakai, T., *ACS Symp.*, **130**, 557 (1980)
3. Raman, K. P., Walawender, W. P., and Fan, L. T., *Conser. & Recycling*, **4**, 79 (1981)
4. Lee, J. S., *Ph.D. dissertation*, KAIST (1996)
5. Kim, Y. J., Lee, J. M., and Kim, S. D., *Fuel*, **76**, 1067 (1997)
6. Song, B. H., Kim, S. D., *Energy Eng. J.*, **2**, 1 (1993)
7. Ahn, H. S., *M.S. thesis*, KAIST (1995)