

# 부분연소를 통한 페타이어의 열분해 연구

이 중민 °(학), 김 정래(정), 김 상돈(정)  
한국과학기술원 화학공학과

## A Study on the Pyrolysis of Waste Tires with Partial Oxidation

Jong Min Lee, Jung Rae Kim and Sang Dong Kim  
Dept. of Chem. Eng., KAIST, Taejon 305-701, Korea

### 요 약

유동층 반응기 ( $H=0.8$  m,  $ID=0.08$  m) 에서 페타이어의 열분해를 수행함에 있어 열분해에 사용되는 열을 외부에서 공급함과 동시에 일부는 내부에서 자체적으로 연소시켜 열을 얻고자 하였다. 온도 증가에 따라 가스의 수율은 40% 까지 증가하였고, 반면에 오일의 수율은 감소하였다. 또한 가스중에 heavy hydrocarbon 이 감소함과 동시에  $H_2$  및 light hydrocarbon 이 증가하였고 이로 인해 가스 부피당 발열량은 감소하는 것으로 나타났다. 가스의 체류시간도 가스 조성에 상당히 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 본 시스템에서 발열량 및 가스생성량은  $2 \text{ u}_{\text{m}}^2$  에서 최소치를 나타내는 것으로 보였다. 또한  $O_2$  농도의 증가는 결국에는 생성가스의 연소를 일으키며, 적당한  $O_2$  농도의 설정으로 이의 연소를 최소화하는 작업이 필요하다.

### 서 론

자동차 산업의 발전과 더불어 페타이어의 발생이 급속하게 증가되어 그에 대한 처리가 사회적 문제로 대두되고 있다. 페타이어는  $8000 \text{ kcal/kg}$  정도의 발열량을 가지고 있을뿐만 아니라, 저장성도 비교적 양호하여 대체에너지 자원으로써 1970년대부터 연구되어 왔다. 에너지 자원으로의 페타이어의 회수 방법중의 하나인 열분해는 저산소 혹은 무산소 분위기하에서 열을 가하여 최, 오일, 가스 등의 생성물을 얻는 공정으로 기존의 소각으로 열을 얻을때의 2차 대기오염 및 불완전 연소에 의한 에너지 회수 효율의 저하 등의 문제점이 적은 것으로 알려져 있다. 이에 본 연구에서는 1) 페타이어의 연속 공급 및 연속 조업이 가능하며, 2) 공정 제어가 용이하고 3) 열효율 및 연소효율이 우수한 유동층 반응기에서의 페타이어의 열분해 특성을 운전 변수에 따라 고찰하고자 하였으며, 이때 열분해에 사용되는 열은 페타이어의 부분 연소를 통해 공급하고자 하였다.

## 실험 및 방법

본 연구에 사용된 유동층반응의 개략도는 Fig. 1 과 같으며, 크게 반응기, 가스 주입부, 연료 공급기, 배가스 처리부, 제어 박스로 구성되어 있다. 반응기는 내경이 80 mm 인 스텐레스관으로 제작하였으며, 분배기로부터 총높이는 0.8 m 이다. 유동층내의 축방향 온도 분포를 측정하기 위해 6개의 열전대를 설치하였고, 충물질로는 0.3 mm 의 입자크기를 갖고 있는 모래를 사용하였으며, 타이어는 1.8 mm 의 입자크기로 분쇄된 것을 사용하였다. 반응기의 온도는 고온 (700-850 °C)을 유지하여 가스로의 수율을 높였으며, condenser 를 이용해 오일을 회수하였다. O<sub>2</sub> 농도는 0 에서 5 % 로 변화시켜 이에 대한 영향을 고찰하였으며, 가스 체류시간에 대한 영향을 살펴보기 위해 기상 유속을 1.5 - 3.0 umf 로 변화시켰다. 비산회는 반응기 출구에 설치되어 있는 사이클론에서 포집하였고, 동시에 H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> 등의 가스 농도를 측정하였다.

## 결과 및 고찰

고온 (800 °C) 에서 타이어의 각 성분별 거동을 Fig.2 에 나타내었다. 그림에서 보듯이 약 60 % 의 휘발분이 1-2 분정도내에 모두 휘발되고 나머지 촉가 연소함을 볼 수 있으며, 이는 유동층 반응기 내에서 타이어가 투입되었을 때 휘발분은 초기에 모두 휘발되며, 촉가 유동층 내에서 충물질인 모래와 함께 섞이면서 연소 반응이 일어남을 예측하게 한다. 유동층 반응기의 조업변수에 따른 영향은 다음과 같다. 우선 시료인 타이어 조각의 투입량에 따라서는 큰 영향이 일어나지 않았다. 즉 타이어 투입량당 각 생성되는 가스량은 O<sub>2</sub> 농도의 상대적 감소로 인한 CO 와 CO<sub>2</sub> 의 감소 이외에는 별 영향은 없었다. 그러나 온도, 체류시간 그리고 O<sub>2</sub> 농도에 따라서는 가스 조성이 변화함을 고찰할 수 있었다. Fig.3 은 온도에 따른 가스, 오일 그리고 촉가의 수율을 나타낸 그림이다. 여기서 볼 수 있듯이 온도가 증가함에 따라 가스의 수율은 약 40 % 까지 증가함을 볼

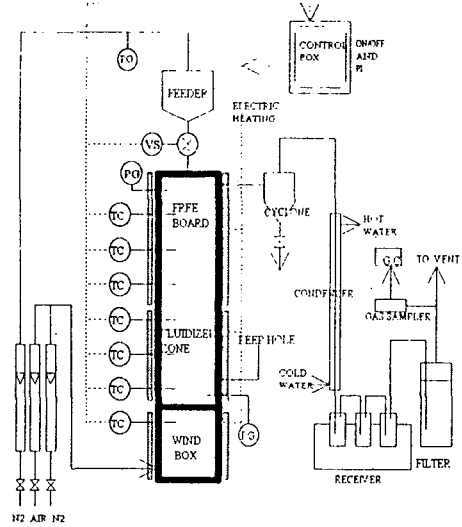


Fig 1. Experimental Apparatus

수 있는 반면, 오일은 감소함을 나타내고 있다. 그러나 최악의 수율은 크게 영향이 없는 것으로 미루어 온도에 따른 가스 수율증가는 오일의 분해 반응에 의한 것으로 유추 할 수 있다. 또한 온도가 증가함에 따라 생성가스중에 heavy hydrocarbon 이 감소하고 H<sub>2</sub> 및 light hydrocarbon 이 증가함을 볼 수 있으며, 이것은 가스상의 이차반응으로 인한 것으로 이해되며, 이로 인해 전체 가스 생성량은 증가하나 단위 부피당 발열량은 감소하는 것으로 나타났다. 생성 가스의 체류시간에 대한 변화를 고찰하고자 기상 유속을 1.5 - 3.0 u<sub>m</sub> 로 변화시켰다. Fig. 4 에서 보는 바와 같이 기상 유속이 증가함에 따라 H<sub>2</sub> 및 light hydrocarbon 은 감소하는 반면에 heavy hydrocarbon 은 증가함을 보이고 있다. 이는 생성가스의 체류시간 감소로 기상에서의 이차반응이 줄었음을 보이는 것이다. 또한 유속이 증가함에 따라 열분해 생성가스량은 줄어들음을 보이며, 단지 절대적 산소량의 증가로 CO<sub>2</sub> 가 증가함에 따라 전체 가스량은 감소하다가 다시 증가하는 최소치 현상을 나타낸다. O<sub>2</sub> 의 농도 변화에 따라서는 농도가 3% 일때는 가스상의 연소는 보이지 않으며 5 % 농도에서는 크게 열분해 생성가스가 감소함을 고찰할 수 있었다. 이것은 O<sub>2</sub> 농도가 작을때는 그 양이 유동층 내의 최악의 연소에 거의 다 소비됨을 의미하며, 농도가 증가함에 따라 층 (bed) 를 통과하고 나온 산소에 의해 열분해 생성가스의 연소가 일어남을 의미하는 것이다.

## 결 론

페타이어의 부분연소를 통한 열분해는 다음과 같은 특성을 지녔다. 온도가 증가함에 따라 가스로의 수율이 40% 까지 증가함을 나타내었으나, 단위 부피당 발열량은 감소함을 보였다. 또한 체류시간의 감소는 열분해 생성물의 가스로의 전환을 크게 하는 한편, 발열량을 높이는 효과를 나타냄을 보였다. 그리고 본 시스템에서의 산소 농도는 3% 이하로 조업하는 것이 생성가스의 연소를 줄이는데 효과적인 조업 조건이었다.

## 참 고 문 헌

1. Paul T. Williams, Serpil Besler and David T. Taylor, ' The pyrolysis of scrap automotive tyres ' , Fuel, 69, 1474-1482, 1990
2. I Saito, K Sakae and T Oriri, ' Effective use of waste tyres by gasification in cement plant ' , World Cement, 9, 264-269, 1987
3. K. Pattabhi Raman, W. P. Walawender and L. T. Fan, ' Gasification of waste tires in a fluid bed reactor ' , Conservation & Recycling, 4, 79-88, 1981
4. Walter Kaminsky, ' Pyrolysis of plastic waste and scrap tyres in a fluid bed reactor ' , Resource Recovery and Conservation, 5, 205-216, 1980

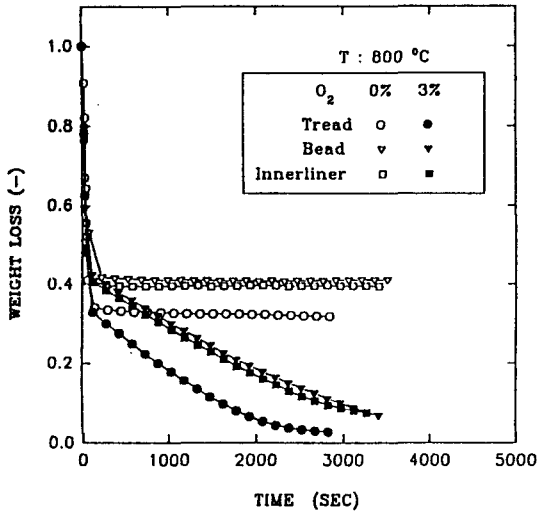


Fig 2. Weight loss vs. reaction time plot for tire components

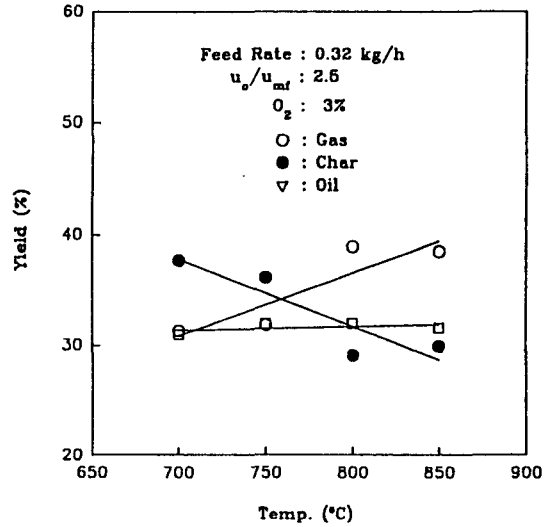


Fig 3. Effect of temperature on gas, oil and char yield

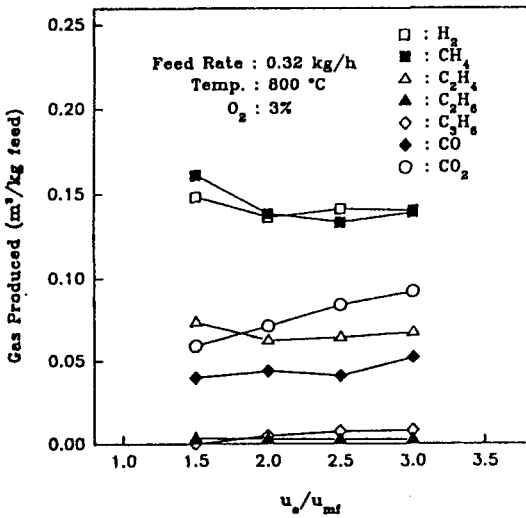


Fig 4. Effect of gas velocity on the amount of product gas