

유동층을 이용한 폐타이어의 열분해

김 정 래 김 상 돈
한국과학기술원 화학공학과

Pyrolysis of Waste Tire in a Fluidized Bed

Jung Rae Kim and Sang Done Kim
Department of Chemical Engineering,
Korea Advanced Institute of Science and Technology,
Taejon 305-701, Korea

요 약

실험실 규모의 유동층 반응기(0.8 m H X 0.08 m I.D.) 에서 반응온도(700 -800 °C), 유동화속도(1.5 - 3 Umf)의 영향에 따른 생성물의 수율, 생성가스의 조성, 생성가스의 발열량의 변화를 질소 분위기하에서 조사하였다. 반응온도를 700 에서 850 °C로 증가 시킬 때 최악의 수율은 36% 정도로 온도에 따라 큰 차이를 보이지 않은 반면 가스의 수율은 온도가 증가함에 따라 22 %에서 800 °C 까지 30% 가량 증가하다 그 이상의 온도에서는 증가하지 않았다. 또한 수소와 메탄은 온도가 증가함에 따라 그 생성량이 증가하는 반면 에탄과 프로펜은 감소하였으며 단위 부피당 가스의 발열량은 감소하였다.

서 론

산업 성장에 따른 자동차 수요의 급증으로 그 부산물인 폐타이어 처리에 대한 문제가 환경 문제로 크게 대두되고있다. 이들 처리는 매립을 통한 폐기처분과 재이용으로 크게 구분할수 있으며 재이용 방법으로는 재생 타이어 생산 과 완충제 등으로 원형 그대로 이용하는 방법을 들 수 있다. 폐타이어의 특성을 살펴 보면 발열량이 8500 Kcal/Kg 이상으로 매우 높을 뿐 아니라 저장성등이 매우 우수하여 좁은 국토면적과 부존자원이 부족하고 에너지 해외 의존도가 매우 높은 우리나라의 경우를 고려할때 이들에 대한 자원화 대책이 시급히 요망된다. 폐타이어의 열분해는 이차 오염 물질의 배출 억제에 가장 효율적이며 이들로 부터 저장 및 운송 가능한 가스와 oil을 만들어 기존의 연소로를 개조하지

않고서 보다 효과적으로 연소할 수 있다는 점에서 최근 많은 연구가 진행중에 있는데 특히 유동층 열분해 반응기는 1)기체와 고체간의 물질 및 열전달속도가 매우 우수하여 기체 및 액체 생성에 대한 수율을 높일수있고 2)층내 온도제어가 용이하며 3)공장 주변의 환경에 따른 공정의 응용성이 우수하다는 장점을 지니고 있어 이에 대한 적용이 점차 확대되고 있다.

따라서 본연구는 고갈되어 가는 화석연료의 사용을 줄일수 있고 환경 보존 측면의 일석이조를 위한 페타이어의 자원화를 위하여 유동층 열분해 반응기의 반응 특성을 조사하여 이들에 대한 올바른 조업 기준의 마련과 설계용 기초 자료를 얻고자 하였다.

실험 및 방법

본 연구에서 사용된 유동층 열분해로 공정은 페타이어의 연속 공급용 feeder, 연소로, cyclone, 배가스 냉각기, 연료용 공급장치 및 장치 제어를 위한 panel로 구성되어있다. 반응로내로 투입되는 페타이어는 내부의 철심을 제거한 후 입경 1.4-2.2mm 크기로 절단하여 타이어 부위별에 관계없이 고루 섞인 것을 사용하였으며 변형된 회전식공급기(rotary feeder)에 V.S.motor를 부착하여 절단된 페타이어를 소량씩 정량적으로 연소로 상부에서 층표면으로 낙하 투입하였다. 반응로는 층부분과 여유벽(freeboard) 부분의 직경이 모두 같은 3인치 스텐레스관으로 제작하였으며 공기 분산판으로부터 배가스 출구까지의 높이는 0.8m 이며다. 공기분산판은 스텐레스 판위에 직경 1.5mm의 구멍을 정삼각형 배열로 14개를 만들었다. 한편 반응기 출구에는 사이크론을 설치하여 비말동반되는 촉를 포집하였으며 그 뒤에 3개의 응축기를 직렬로 부착하여 열분해시 발생하는 oil류를 검출하였고 발생 가스는 최종 glass wool 여과기를 통하여 대기로 방출 시켰다. 반응기의 핵심부인 층부분은 설정 온도의 변동 폭을 줄이기 위하여 PID 조절기를 사용하였다.

유동 매체로 사용된 물질은 모래가 그 주를 이루며 열분해하여 얻어진 촉가 소량 혼합되어 있는데 모래의 평균 입자 크기는 0.3 mm 이다. 반응기로부터 가열된 가스가 hopper로 역류되지 않도록 하기 위하여 미량 질소를 뚜껑위에 달린 3/8인치 튜브를 통하여 hopper 내부로 계속 흘려 보냈다. 반응기의 온도가 설정 온도로 도달 될 때 까지 초기에는 공기를 주입하였다. 반응기의 온도가 설정 온도에서 제어 되면 질소와 공기의 line을 교체하고 원하는 질소의 유량을

rotameter에 부착된 needle valve에 의하여 조절한 후 system이 안정 되는 시간 까지 경과 된 다음 페타이어 시료를 투입하기 시작하였으며 공기 상자 및 여유벽의 온도는 모두 총 부분의 설정 온도와 같은 값으로 제어하였다. 시스템이 정상상태에 도달되면 5분 간격으로 3번 가스를 채취하여 가스의 조성을 C.C.에 의하여 분석하였는데 충전제로서 molecular sieve 5A 와 Porapak Q를 사용하였다.

본실험의 조업변수는 반응온도 및 유동화 속도로서 각각 700-850°C 와 1.5-3 U_{mf} 로 변화 시키며 실험하였다.

결과 및 고찰

본 연구에서는 생성된 가스, 촉 및 oil의 수율을 다음과 같이 정의하였다.

$$Y_i = TY_i / TF$$

여기서 Y_i 는 각성분에 대한 수율, TY_i 는 각 성분에 대하여 생성된 총 양 그리고 TF는 총 투입된 페타이어의 양이다.

기상 유속을 2.5 U_{mf} 그리고 투입량을 66 kg/m² h 으로 유지하면서 반응온도를 700 에서 850 °C로 증가 시킬 때 촉의 수율은 35% 정도로 온도에 따라 큰 차이를 보이지 않은 반면 가스의수율은 온도가 증가함에 따라 22 %에서 800 °C 까지 30% 가량 증가하다 그이상의 온도에서는 증가하지 않았다. 한편, 총가스의 생성량은 반응온도가 700 에서 850 °C 까지는 80 에서 140 l/h 으로 증가하였는데 각 가스 성분별로 그 생성 특성을 살펴보면 다음과 같다.

수소와 메탄은 온도가 증가함에 따라 그 생성량이 증가하는 반면 에틸렌의 생성은 800 °C 까지 그 생성량이 증가하다 그 이상에서는 생성량이 둔화 되며 에탄과 프로펜은 온도가 상승함에 따라 생성량은 감소하였고 850 °C 에서는 탄소 갯수가 3개 이상인 탄화수소가 검출되지 않았다. 한편 750 °C 미만의 온도 부분에서는 일산화탄소와 프로판이 미량 검출 되었으며 700 °C 까지는 탄소 갯수가 4개 이상인 가스 분자는 검출 되지 않았다.

총 투입된 페타이어의 발열량 값중 생성된 가스의 발열량을 에너지 회수율로 정의 할 때 에너지 회수율은 800 °C 미만의 온도에서는 온도가 증가 함에 따라 증가되지만 그 이상의 온도에서는 증가하지 않았으며 온도가 증가함에 따라 가스의 발열량은 7860 에서 7240 kcal/Nm³ 으로 감소되었다.

반응온도를 800 °C 그리고 페타이어 주입량을 0.33 kg/h 를 유지하면서 기상 유속을 1.5 에서 3.0 U_{mf} 로 증가 시킬 때 가스의 수율은 유속이 증가함에 따라 26 %에서 30 % 로 증가하다 서서히 감소하는 경향을 보였으며 총 생성된 가스의 부피는 가스의 수율과 같은 경향으로 유속이 증가함에 따라 0.4 Nm^3/kg feed 에서 0.45 Nm^3/kg feed 으로 증가하다 감소하였다.

결 론

- 1) 반응온도를 700 에서 850 °C로 증가 시킬 때 최대 수율은 36% 정도로 온도에 따라 큰 차이를 보이지 않은 반면 가스의 수율은 온도가 증가함에 따라 22 %에서 800 °C 까지 30% 가량 증가하였다. 다 그이상의 온도에서는 증가하지 않았다.
- 2) 수소와 메탄은 온도가 증가함에 따라 그 생성량이 증가하는 반면 에탄과 프로펜은 감소하였다.
- 3) 페타이어 열분해시 생성된 가스의 에너지 회수율은 800 °C 까지 온도의 증가에 따라 증가하지만 그 이상의 온도에서는 큰 변화가 없었으며 온도가 증가함에 따라 단위 부피당 가스의 발열량은 선형적으로 감소하였다.
- 4) 기상 유속을 1.5 에서 3.0 U_{mf} 로 증가 시킬 때 가스의 수율은 유속이 증가함에 따라 증가하다 서서히 감소하는 경향을 보였으나 총 생성된 가스의 부피는 증가하다 감소하였다.

참고 문헌

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