

## 유동층 열분해에서 온도변화에 따른 잣나무 톱밥의 열분해 특성에 관한 연구

양현재 · 김남찬\*<sup>†</sup> · 엄민섭\*  
(주) SH엔지니어링, \*광운대학교 환경공학과

### A Study on the Pyrolysis Characteristic as Temperature Variation in the Fluidized Bed Pyrolysis

**Hyun-Jae Yang, Nam-Chan Kim\*<sup>†</sup>, and Min-Seop Eom\***

*SH Engineering Co., Younghwa Building, 205-5, Nonhyon-Dong, Kangnam-Gu, Seoul, Korea*  
*\*Department of Env. Eng., Kwangwoon University, 447-1, Wolgye-Dong, Nowon-Gu, Seoul, Korea*

Variation of product yields and chemical composition in pyrolytic oil had been determined in this study. As temperature increased, yield of pyrolytic oil was decreased and pyrolytic gas, that is, gas phase product was increased. Optimum condition of temperature was 400°C to collect the pyrolytic oil and maximum yield of pyrolytic oil was 60.4%. It was shown traditional characteristics of biomass pyrolysis which organic compounds of high molecular weight was increased as the increase of temperature. Thus, it had been known that various chemical compounds was obtained pyrolytic oil which collected from electrostatic precipitator.

**Key words :** Pyrolysis, Temperature, Product yield, Pyrolytic oil

## 1. 서 론

최근 10여 년간 식물을 비롯한 바이오매스는 화석연료 중심의 기존 산업시설 및 장치 등에 직접 적용할 수 있는 대체자원으로 인식되면서 커다란 관심을 끌고 있다<sup>1,2)</sup>.

바이오매스의 다양한 재활용 기술 중 열분해는 2차 오염물질의 발생이 적어 친환경적이며 자원으로서의 가치가 탁월한 다양한 성상의 부산물 회수가 가능하여 각광받고 있다. 열분해시 회수되는 생성물의 수율 및 조성은 압력조건, 체류시간 등의 변수에 따라 민감하게 영향을 받게 된다. 따라서 본 연구에서는 열분해에서 가장 중요한 변수중 하나인 온도조건에 따른 생성물의 수율변화와 회수된 열분해오일의 조성변화를 관찰하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1. 시료

본 연구에 사용된 *pinus koraiensis*의 톱밥은 수분 7.25%, 휘발분은 82.39%, 고정탄소 10.03%, 회분 0.33%를 나타내었으며, 원소분석 결과 C 52.42%, H 6.93%, N 0.13%, S 0.01%, O 40.51%의 조성을 보였다. 또한 실험을 위해 110~120°C에서 48시간 건조했으며, 입도는 250~850  $\mu\text{m}$  사이의 크기를 사용하였다.

### 2.2. 실험장치

본 연구에 사용된 유동층 열분해 장치를 Fig. 1에 도시하였다. 유동층 반응기는 스텐레스강(SUS-304)를 이용하여 내경 7.62 cm, 높이 80 cm로 제작되었으며 하부에는 sintered 타입의 분사판과 예열기를 설치하였다. 시료는 DC motor controller로 조절되는 screw feeder에 의해 주입되었고, 반응기 외부의 heat jacket

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.

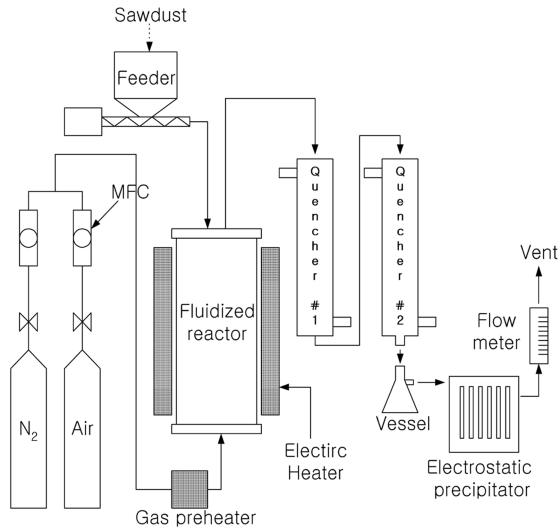


Fig. 1. Schematic diagram of bubbling fluidized bed reactor system.

과 예열기는 PID-controller로 조절하였다. 가스 공급 장치(MFC: MGF-Series, Rich Field)를 사용하여 유동화 기체인 질소를 공급하였으며 열분해오일의 회수를 위해 콘덴서와 전기집진기를 설치하였다.

### 2.3. 실험방법

비등은 열중량 분석과 반응열을 측정하기 위하여 TA Instrument사의 TGA-2050를 사용하였다. 온도에 따른 열분해 생성물의 수율변화를 관찰하기 위해 온도 350~550°C, Uo/Umf 4.0, L/D 2.0, 시료 투입률 2.0 g/min, 유동상 입자 크기 40~128 μm에서 실험하였다. 생성된 열분해오일의 특성을 파악하고자 Agilent사의 6890 GC와 5973 mass selective detector(MSD)를 사용하였다. 분리관은 HP5-MS fused silica capillary column(30 m × 0.25 mm I. D. × 0.25 μm film thickness)를 사용하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 온도에 따른 열분해 생성물의 변화

유동층 반응기에서 반응온도 변화에 따른 열분해 생성물의 수율을 Fig. 2에 도시하였다. 실험결과 온도가 증가할수록 오일발생량은 감소하고 가스발생량은 증가하는 전형적인 열분해 특성을 보여주었다. 회수된 열분해 오일의 최대수율은 400°C에서 60.4%였다. 온도가 증가하면 오일생성에 필요한 열분해 열량보다 과도한

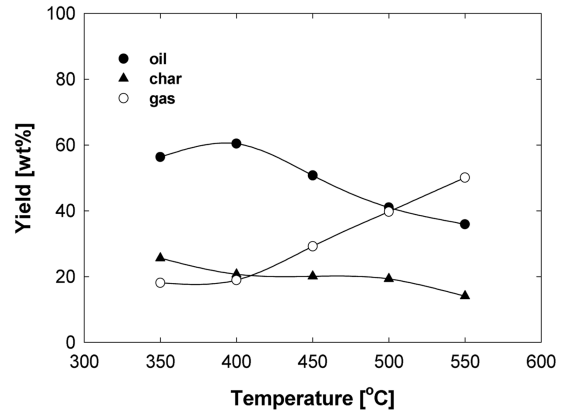


Fig. 2. Effect of temperature on the products yield.

열량이 공급되고 톱밥의 주성분인 탄소가 낮은 분자량의 화합물로 분해되기 쉬워 액체상보다는 기체상의 생성물을 만들어 내기 때문이다. 또한 이미 생성된 열분해 오일의 경우 고온에서 2차 분해에 의해 가스로 변화하여 오일수율을 감소시키게 된다. 찌르의 경우 온도가 증가하면 감소하는 경향을 보이나 대체적으로 큰 영향은 없는 것으로 판단되었다<sup>3)</sup>.

### 3.2. 잣나무 톱밥의 TGA 및 DTG 분석

승온율 30°C/min에서의 TGA, DTG의 결과를 Fig. 3에 나타내었다. Williams와 Beseler<sup>4)</sup>는 목재의 열분해는 대략 280°C부터 시작된다고 하였다. TGA 결과에 의하면 반응은 3단계로서 50~200°C에서 1 단계, 200~400°C에서 2 단계, 400~800°C 구간에서 3 단계의 분해가 발생함을 확인할 수 있었다. 또한 Fig. 3에서 보는 바와 같이 대부분의 열적 분해는 2단계에서 발생하였으며 400°C에서 최고의 열분해 오일의 회수가 가능했다는 사실을 뒷받침한다.

### 3.3. 열분해 오일의 조성변화

Fig. 4에서 보는 바와 같이 콘덴서에서 수집한 오일의 경우, 반응온도가 증가함에 따라 phenol과 pyrocatechol은 증가하였다. 또한 유기합성의 기초물질이며 목재내의 리그닌 분해과정에서 발생하는 것으로 알려진 furfural은 현저히 감소하였다. 온도가 증가하면서 phenol과 같은 고분자량의 산화유기화합물이 증가하는 것은 전형적인 열분해 오일 특성중 하나이다. 또한 전기집진기를 통해 오일미스트를 회수하여 정성 분석한 결과 quaiacol 감소에 따른 phenol 증가현상은 유사하였으나 furfural은 거의 변화가 없었다. 콘덴서에

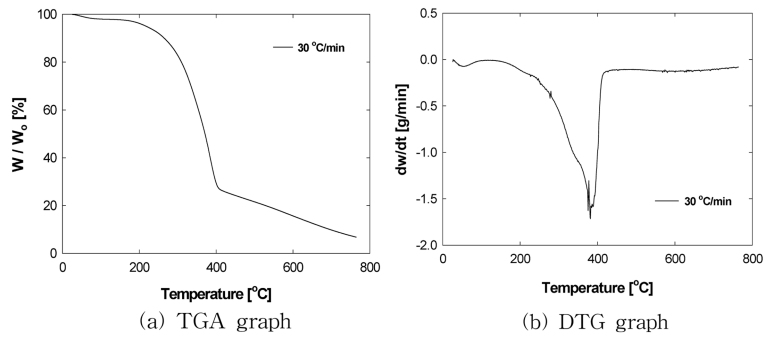


Fig. 3. TGA and DTG curves of sawdust.

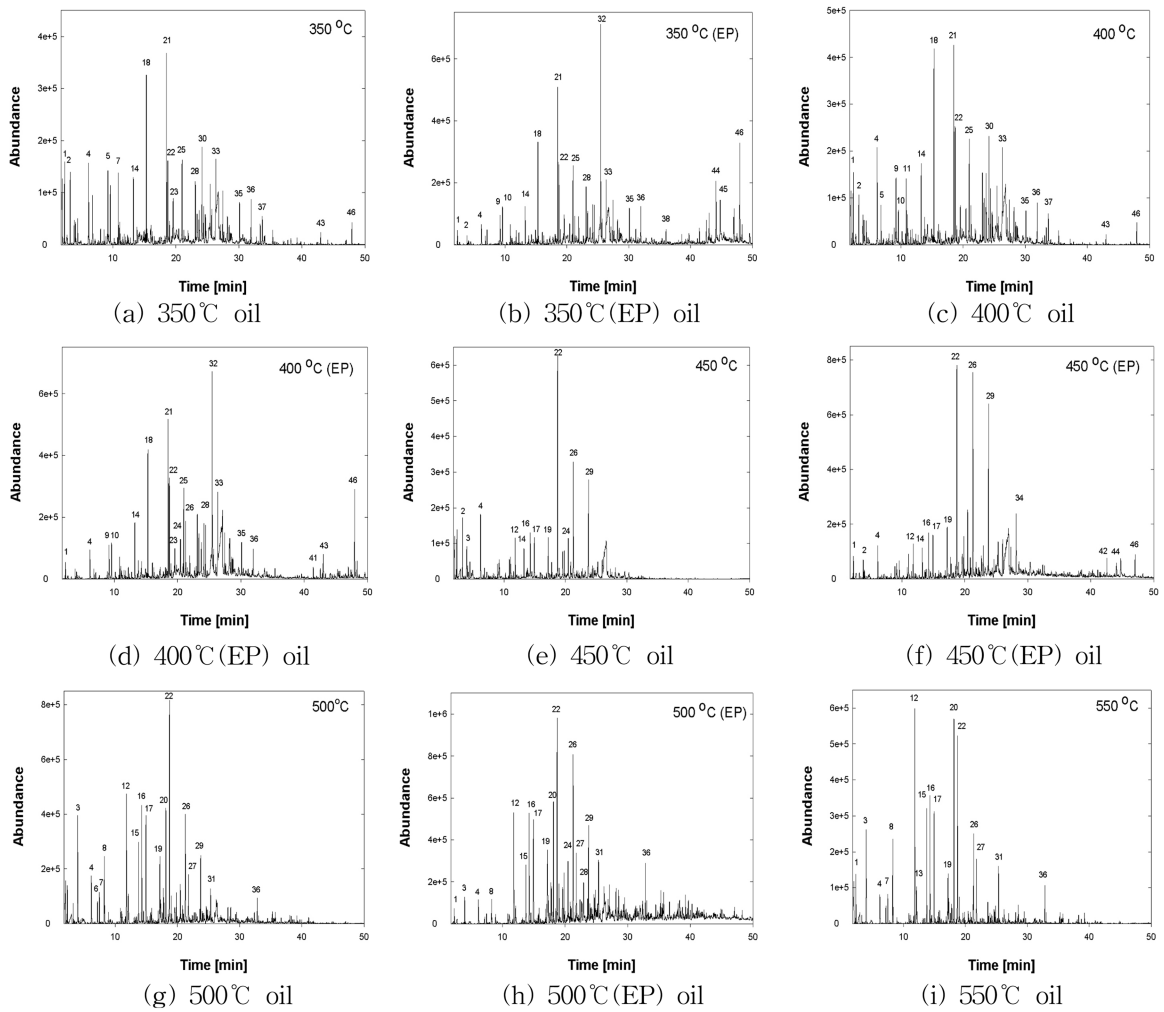


Fig. 4. Composition variation of sawdust pyrolysis oil with temperature.

서 회수한 오일에 비해 집진에 의해 회수한 오일미스트 내의 케미칼 종류가 많았다.

#### 4. 결 론

온도가 증가할수록 오일발생량은 감소하고 가스발생

량은 증가하는 전형적인 열분해 특성을 보였으며 열분해 오일의 최대수율은 400°C에서 60.4%였다. 콘덴서에서 수집한 오일의 경우, 반응온도가 증가함에 따라 phenol과 pyrocatechol은 증가하였으며 furfural은 현저히 감소하였다. 전기집진기를 통해 회수된 오일미스트는 quaiacol 감소에 따른 phenol 증가현상은 유사하였으나 furfural은 거의 변화가 없었다. 콘덴서에서 회수한 오일에 비해 집진에 의해 회수한 오일미스트 내의 케미칼 종류가 많았다.

### 참고문헌

1. Price, B., Electricity from Biomass. Financial Times Business Ltd. ISBN 1 84083 0735. 1998.
2. "Biomass as Non fossil Fuel Source" ACS Symosium series 144, ISB 0-8412-0599-X, American Chemical Society. Washington, DC, **1981**, pp.564
3. S. P. R. Katikaneni, J. D. Adjaye and N. N. Bakhshi, Can. J. Chem. Eng. **1995**, 73, 484.
4. P. T. Williams and S. Besler, Renewable Energy. **1996**, 7, 233-250.