

## 반탄화 공정 변화에 따른 바이오매스 연료의 특성 연구

엄태인·채종성·김정규·최수아·오세천\*

한밭대학교 건설환경공학과, \*공주대학교 환경공학과

### Study on the Characteristics of Bio-mass according to Various Process of Torrefaction

Tae-In Ohm, Jong-Seong Chae, Jung-Ku Kim, Soo-A Choi, \*Sea-Cheon Oh

Department of Civil and environmental Eng., Hanbat National University

\*Department of environmental Eng., Kongju National University

#### ABSTRACT

In this study, we carried out torrefaction experiment using PKS(Palm Kernel Shell), and Bagasse as a raw material of oversea of herbaceous biomass and using waste wood and logging residue as a raw material of domestic of woody biomass. And then, by analyzing the physical & chemical properties, we investigated the characteristics as a fuel. By using the result of thermo gravimetric analysis, the biomass residue was torrefied for 30 minutes at a temperature range of 250-350°C in anaerobic condition. As a result, torrefied materials of moisture content are lower than raw, but of fixed carbon, calorific value and ash are higher than raw.

**Key words** : biomass, torrefaction, co-firing, woody biomass

#### 1. 서 론

화석연료의 고갈 및 경제적·환경적 문제는 화석연료를 대체할 수 있는 대체에너지 개발이 요구되고 있다. 최근 대체에너지로 식용할 수 없는 바이오매스에 대하여 관심과 연구가 꾸준히 증가하고 있다. 바이오매스 에너지란 생물체와 부산물 등을 액체, 가스, 고체연료나 전기·열에너지 형태로 변환한 에너지를 의미한다. 특히 바이오매스 에너지를 사용함에 따라 발생한 이산화탄소는 바이오에너지 생산 원료인 식물이 자라면서 광합성에 의해 흡수하므로 이산화탄소 배출이 적은 장점이 있다<sup>1,2,3)</sup>. 그러나 연료로써 바이오매스를 이용하기엔 O/C 비율과, 낮은 발열량, 높은 함수율 등이 주요 문제로 지적되고 있다<sup>2,3)</sup>. 최근 국내에서도 2012년 RPS 제도(Renewable Portfolio Standards; 신재생에너지 공급 의무화 제도)의 시행을 계기로 다양한 신·재생에너지의 개발과 바이오매스의 탄화 연구가 활발히 진행되

고 있다.

본 연구의 반탄화 공정은 바이오매스 부산물에서 고품질의 연료를 얻기 위한 열처리 방법이라고 할 수 있다. 반탄화 공정은 이산화탄소, 물, 유기산과 같이 발열량을 낮추는 반탄화 가스를 200~300 °C의 온도 범위에서 노출시켜 산소를 제거하는 방법이다. 이 과정을 통해 부분적인 탈휘발 및 열적분해 반응으로 원래의 바이오매스 30%를 제외한 질량이 초기 에너지량의 90%를 보유하는 Char 형태로 남으며, 순수한 바이오매스와 비교하였을 때, 반탄화 과정을 거친 반탄화물은 함수율과 O/C 비율이 낮아지며, 연료로써 적합한 높은 에너지밀도와 발열량을 가질 수 있다<sup>4,5)</sup>. 생산된 바이오매스 탄화물을 안정적으로 석탄화력 발전소에서 혼소하기 위해서는 탄화물의 연소(혼소) 특성과 바이오매스 펠릿 제조시설의 규격화 및 품질 안정화 대책이 중요하며, 바이오매스를 이용한 연료와 석탄과 혼합 연소시

발생할 수 있는 환경적 영향과 연소장치에 미치는 악영향을 방지하기 위한 품질기준 및 관리방안이 필요하다<sup>6,7,8)</sup>. 그러나 석탄화력 혼소의 연구 개발에 있어 바이오매스 부산물의 연료특성 분석을 통한 활용가능성 규명의 연구 및 분석자료 확보가 필요하나 다양한 바이오매스 부산물의 원료에 대한 특성분석이 이루어지지 않아 이에 어려움을 겪고 있다. 따라서 반탄화 과정을 거친 반탄화물에 대한 고행연료 이용 가능성으로써 탄화물의 연료특성등의 전반적인 검토가 필요한 실정이다.

본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 국내의 목재류 및 국외의 농업부산물 등의 바이오매스를 반탄화 공정을 통해 탄화물 연료로 만든 다음 공업분석, 원소분석, 함수율, 발열량, 회용점 분석 및 중금속분석을 실시하였다. 이를 통해 바이오매스 원료와 탄화물 고행연료의 특성 및 연소 특성을 파악하였다.

## II. 실험재료 및 실험방법

### 1. 실험 재료

바이오매스의 반탄화 실험을 위하여 국내의 벌채 잔재물(Logging residue)과 발생량 비중이 높고 중금속 성분이 다양하게 함유되어 있는 폐목재(Waste wood) 등 2종류를 사용하였고, 국외의 시료는 동남아시아의 PKS(Palm Kernel Shell), 사탕수수 부산물(Bagasse)등 4종류를 사용하였다.

### 2. 실험 방법

반탄화를 위한 공정 시스템을 Fig. 1에 나타내었다. 반탄화 실험을 위하여 본 연구에서는 시료의 일정량(20g)을 세라믹 boat에 취한 후 전기로에 투입하여 질소분위기에서 정해진 온도 또는 시간에 따라 반탄화 실험을 진행하였으며, 이때 발생되는 가스를 가스 분석기를 이용하여 실시간으로 분석하였다. 원하는 설정온도 또는 시간에 도달한 후 전기로로부터 boat를 채취하여 시료의

무게변화와 성분분석 및 발열량 분석을 수행하였다. 전기로의 최고 사용온도는 1,600 °C로 내부 Tube의 규격은 직경 150 mm와 길이 600 mm이며 온도제어를 위하여 PID제어기를 통한 3 zone control을 적용하고 있다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 열중량 분석

바이오매스 부산물의 질소분위기에서 10, 20 및 30 °C/min의 승온 속도에 대한 반탄화된 시료의 TGA(Thermogravimetric Analysis)분석을 수행하였으며 분석결과를 Fig. 3에 나타내었다. 바이오매스 부산물의 열적감량 곡선에서 각각의 시료는 약 200 °C에서 500 °C에 걸쳐 서서히 열분해 및 연소가 진행되는 것으로 나타나고 있다. 다소 차이는 있으나 250 °C를 시작하여 400 °C 부근에 도달하는 동안 중량이 감소하여 완료됨을 알 수 있었다. Fig. 2의 TGA 분석 결과로 질량 감소 범위를 확인할 수는 있으나 탄화물의 에너지수율 측면을 고려할 때 너무 과도한 질량 감소는 오히려 너무 낮은 에너지수율의 결과를 가져오게 됨으로, 일반적으로 탄화물을 생산하는 반응은 탄화물의 발열량 및 성분 그리고 발열량 등을 고려하여 최적의 에너지수율을 얻기 위한 조건에서 운전된다. 250~400 °C 온도 영역에서 일어나는 반탄화 바이오매스의 열분해는 주요 구성 성분인 셀룰로오스의 분해 특성을 나타낸다. 반탄화 바이오매스의 중량 감소는 온도가 약 200 °C 이상부터 열적조건을 통해 셀룰로오스 내 수소, C-O, C-C의 결합과 세포의 구조를 파괴하여 부서지기 상태가 됨으로써 일어난다고 알려져 있다.

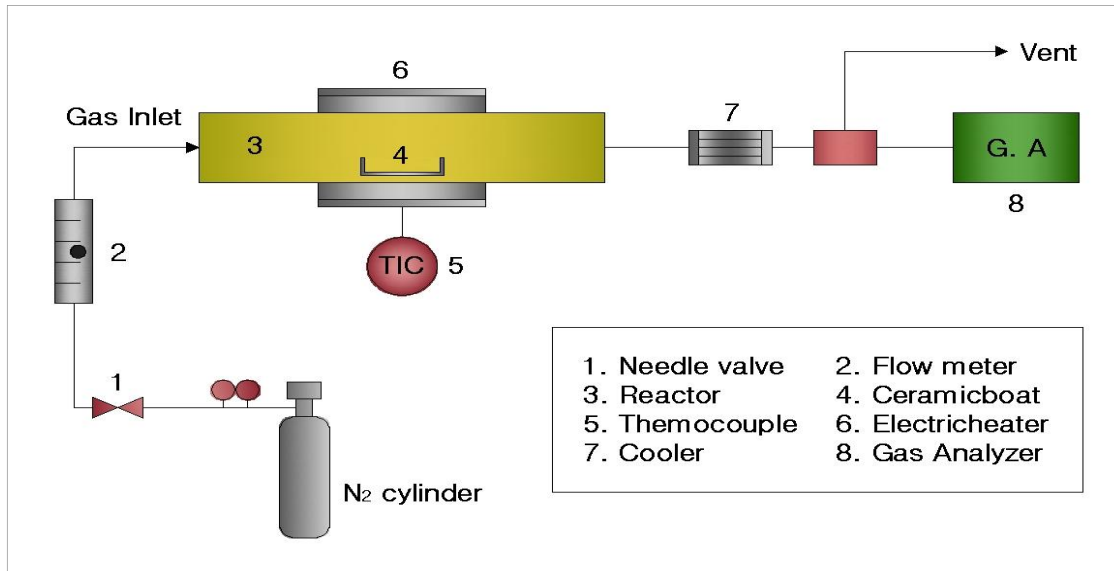


Fig 1. Schematic Diagram of the apparatus

#### IV. 결론

바이오매스 부산물은 국내의 목질계 부산물과 국외의 초분류 부산물로 구분하였고, 목질계는 폐목재(Waste wood)와 벌채부산물(Logging residue), 초분류는 PKS(Palm Kernel Shell), 사탕수수 부산물(Bagasse)를 사용하였다. 바이오매스 4종을 이용하여 반탄화 실험을 진행하였고, 이로부터 물리·화학적 특성을 분석하여 연료특성을 알아보았다.

(1) 열중량 분석결과 각 시료는 약 200 °C에서 600 °C에 걸쳐 열분해가 서서히 진행되었으며 250~400 °C에서 중량이 급격히 감소하는 것을 알 수 있었다. 열중량 분석 결과를 토대로 250~350 °C에서 반탄화 실험을 수행하였다.

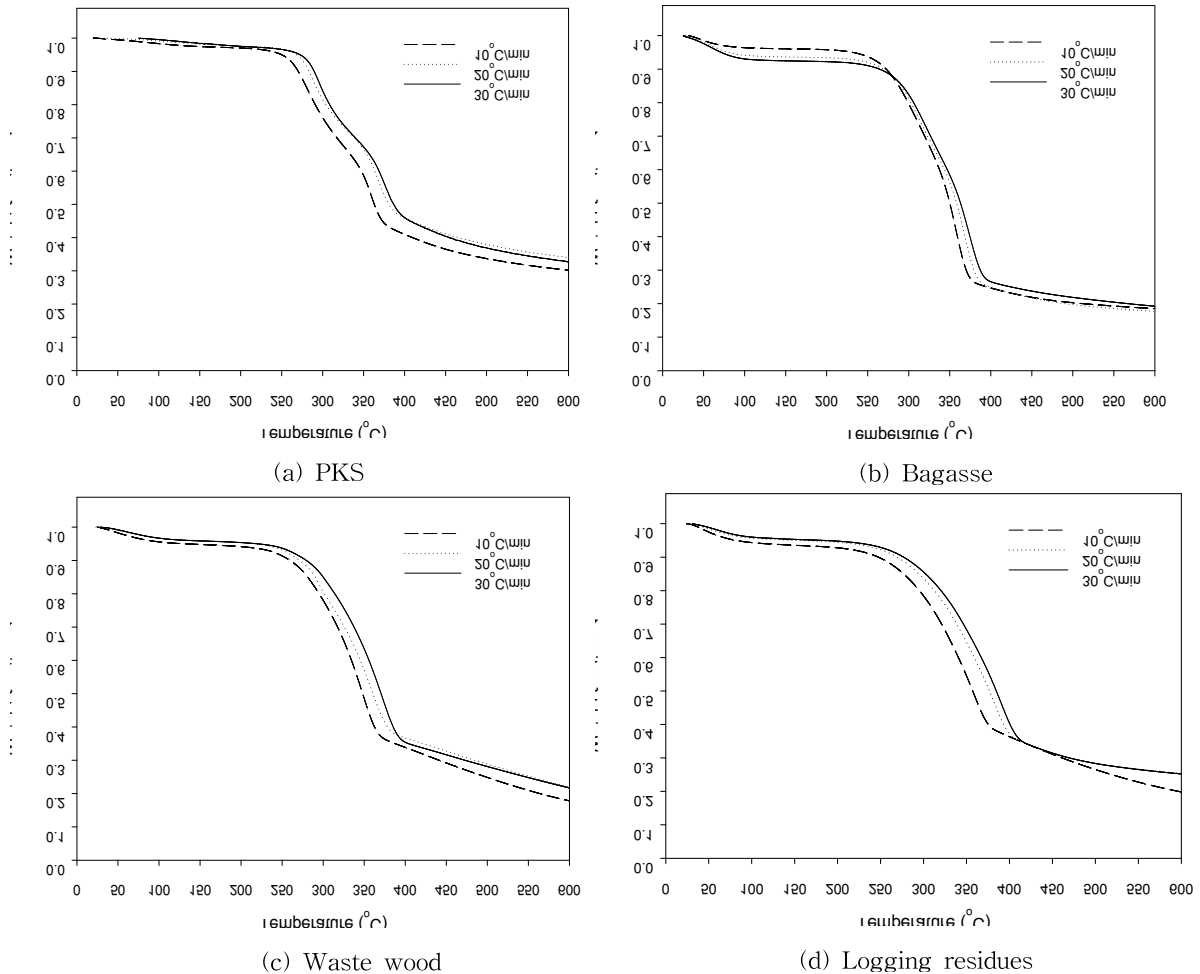
(2) 바이오매스의 반탄화 온도는 각각 PKS는 350°C, 사탕수수 부산물은 350 °C, 폐목재 250 °C, 벌채잔재물은 300 °C이다. 반탄화물은 반탄화 이전과 비교하였을 때, 수분 및 휘발분은 감소하였으며 고정탄소 및 회분은 증가함에 따라 발열량도 증가하였다. 4종의 바이오매스중 폐목재에서만 중금속이 검출되었다. 4종의 바이오매스

모두 반탄화 후 발열량이 4,799 kcal/kg~5,539 kcal/kg으로 ISO/TC238 Draft기준치를 만족하였다.

(3) 반탄화 후 연료비는 0.40~0.49, 연소성 지수(CI)는 11,000~13,000 kcal/kg으로 석탄과 혼소시 혼소 비율을 최적화하면 연소성 지수를 유지할 수 있다.

(4) 시료별 FT(Fluid temperature)는 PKS 1,351 °C, Corn stalk 1,220 °C, 폐목재 1,295 °C, 벌채잔재물이 1,270 °C로 Corn stalk의 용융점이 가장 낮고, PKS의 용융점이 가장 높았다. 4가지 시료의  $\Delta T$ (용융점-용융시작점)는 PKS 194 °C, Corn stalk 83 °C, 폐목재 75 °C, 벌채잔재물이 56 °C이다.

(5) 반탄화 된 시료의 수분 재흡수 실험 결과 초기 함수율 4~5%에서 11일 후 최대 10% 까지 증가하였다.



**Fig. 2. TGA analysis of torrefaction biomass**

## References

1. A. Sarvaramini, F. Larachi : Integrated biomass torrefaction-chemical looping combustion as a method to recover torrefaction volatiles energy, FUEL. Vol 116, pp. 158-167(2013)
2. A. Sarvaramini, Gnouyaro P. Assima, F. Larachi : Dry torrefaction of biomass - Torrefied Products and torrefaction kinetics using the distributed activation energy model, Chemical Engineering Journal. Vol 229, pp. 498-507(2013)
3. M.J.C, van der Stelt, H. Gerhauser, J.H.A. Kiel, K.J. Ptasinski : Biomass upgrading by torrefaction for the production of biofuels, a review, Biomass Bioenergy 35, pp. 3748-3762(2011)
4. Jaap Koppejan, Shahab Sokhansanj, Staffan Melin, Sebnem Madrali : Status overview of torrefaction technologies, IEA Bioenergy Task 32 report(2012)