

고열량 바이오매스 연료 생산을 위한 무산소 반탄화 방법에 대한 실험적 연구

이창엽*† · 김세원* · 신명철* · 권민준*

Experimental study on oxygen free torrefaction process to produce high quality biomass fuel

Changyeop Lee*†, Sewon Kim*, Myungchul Shin*, Minjun Kwon*

ABSTRACT

A novel torrefaction process is suggested to improve energy efficiency and to produce high quality biomass fuel. Major developments for novel torrefaction process are as follows. To maximize the energy efficiency in heat transfer, flue gas is directly used for heat source in the torrefier. To accomplish the oxygen free environment in the torrefaction reactor, a burner is developed and it can be runned with fuel rich state. To use the calorific gases produced from torrefier, another burner is developed to combust them. In the test, the novel torrefaction process leads low energy consumption and the quality of torrefied fuel becomes better.

Key Words : Torrefaction, Biomass, Anaerobic, Torrefier

지구온난화 문제와 관련하여, 탄소중립연료인 바이오매스는 그 잠재적 가치에 비해 에너지원로서의 활용률은 매우 저조한 실정이다. 이러한 저조한 활용 현황은 우드펠릿과 같은 연료화 된 바이오매스의 몇가지 문제점에서 기인한다. 먼저, 바이오매스는 화석연료에 비해 발열량이 낮다. 이의 극복을 위한 가스화나 액체연료 생산기술 등은 아직 경제성 문제를 해결하기 어려운 상태이다. 석탄 등 고체화석연료와 비교하여 또다른 문제점은 바이오매스 연료의 높은 함수율 및 흡습성이다. 이는 연료의 이송 및 저장의 어려움을 초래하여 운송비용이 증가하고 사용하기 어려운 연료로 인식되는 원인이 된다. 또한, 바이오매스의 섬유질 성분은 분쇄가 어려운 매우 길긴 구조로, 분쇄하여도 입자 크기가 크고 고르지 못한 현상을 보인다. 이로 인해, 미분탄과 바이오매스의 혼합연료 사용 시에도, 두 연료의 공급라인을 별도로 구성해야하는 경제적, 기술적 문제가 발생할 수 있어, 바이오매스 연료 사용 활성화에 저해 요인으로 작용하고 있다.

Torrefaction(반탄화)은 저급 바이오매스 연료를 저온 열분해(Mild pyrolysis)하여, 바이오매스 연료의 일부 성상을 변화시키고 고열량화 하는

기술이다.[1] 이는 바이오매스 연료의 에너지밀도를 높이고, 성상을 변화시켜, 발열량, H/C 비율, O/C 비율 등을 기존 고체 화석 연료에 보다 가까운 형태로 고체연료화 하는 과정이다.[2]

Torrefaction은 적용 바이오매스 연료에 따라 달라지나, 목질계 바이오매스의 경우 보통 200~350 도의 온도, 10~30분 정도의 시간 범위 내에서 이루어 진다. 가열온도 및 시간에 따라 다양한 크기의 바이오매스 Torrefaction 과정은 연료의 탈수(Dehydration) 및 카르복시기 제거(Decarboxylation)가 주가 되는 화학적 반응이다.[3] 그러나, 잘못된 torrefaction은 효율 가능한 휘발성 연료의 손실을 초래할 수 있어 세심하고 체계적인 연구가 필요하다.[4]

Torrefaction의 에너지효율은 반탄화 반응로로의 열전달 과정과 반탄화 반응 중에 발생한 가용 가능한 합성가스의 활용여부에 따라 결정된다. 반응로로의 열전달 방법은 배기가스를 직접 사용하는 방법이 가장 효율이 높으나, 배기가스 내 산소에 의한 반탄화 효율 저하가 우려된다. 또한, 반탄화 반응에서 발생한 합성가스가 배기가스와 섞여 활용이 불가능한 단점이 발생한다. 본 연구에서는 반탄화 반응로에 열을 공급하는 1차 연소기에서 의도적인 연료농후형 연소상태를 유지하여 배기가스 내 산소를 제로화 함으로서 반탄화 효율저하 문제를 해결하려 한다. 또한, 배기가스

* 한국생산기술연구원 에너지시스템연구그룹
† 연락처, cylee@kitech.re.kr
TEL : (041)589-8414 FAX : (041)-589-8323

와 반탄화 과정 중에 발생한 합성가스를 건조기에 열을 공급하는 2차 연소기에 투입함으로써 1차 연소기 배기가스에서 발생한 CO 및 반탄화 반응로에서 발생한 탄화수소계열의 가용 가능한 가스성분을 모두 연소시키려 한다. 이를 위해, 먼저 연료농후 상태의 연소기 배기가스에 의한 열 전달 상황에서 목질계 바이오매스의 반탄화 특성에 대한 고찰이 필요하다. Fig.1에서 개발중인 전체 반탄화 공정을 나타내었으며, Fig.2에서 반탄화 특성 고찰을 위한 Lab. scale 실험장치의 구성도를 나타내었다.



Fig. 3 Samples of torrefied Biomass

반탄화 반응 실험에서는 세가지 조건을 주요 변수로 설정하였다. 첫째는 반응온도로 반응로 내 온도를 설정하고 정상상태를 유도한 후 바이오매스를 투입하여, 온도에 따른 반탄화 반응 변화를 확인하였다. 반응온도 조건은 225℃에서 300℃사이이며, 설정온도 상승에 따른 volatile 및 수분의 감소가 확연하게 나타났다. 또다른 실험 변수는 반응시간으로 20분에서 30분 사이로 조건을 조절하였다. 반응시간 증가에 따라 바이오매스 탄화 정도가 높아지고 수분함량이 낮아짐을 확인 가능하였다. Fig.3에서 반응온도와 시간의 변화에 따른 바이오매스의 겉보기 변화를 나타내었다. 반면에 반응로에 투입하는 바이오매스의 크기를 다르게 하는 실험에서는 크기변화에 대한 반응 정도의 차이를 확인할 수 없었다.

반탄화 반응에서는 상대적으로 낮은 온도에서 장시간 반응이 일어나기 때문에, 반응되는 바이오매스의 내외부가 같은 조건으로 정상상태가 되어 반응이 일어나기에 충분한 시간이 주어지기 때문에 파악된다.

본 연구는 실제 상용화 설비 개발을 위한 기초 실험으로 수행되었으며, 향후 Pilot plant 구축 설계에 반영될 예정이다.

후 기

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20113030090010)

참고 문헌

- [1] M.J. Prins, "Thermodynamic analysis of biomass gasification and torrefaction", Ph.D. thesis, Technische Univ. Eindhoven, 2005.
- [2] G. Almeida, J.O. Brito, P. Perre, "Alterations in energy properties of eucalyptus wood and bark subjected to torrefaction: The potential of mass loss as a synthetic indicator", Bioresource technology: biomass, bioenergy, biowastes, conversion technologies, biotransformations, production technologies, Vol. 101, No. 24, 2010, pp. 9778-9784.
- [3] W.H. Chen, P.C. Kuo, "Torrefaction and co-torrefaction characterization of hemicellulose, cellulose and lignin as well as torrefaction of some basic constituents in biomass", Energy: technologies, resources, reserves, demands, impact, conservation, management, policy, Vol.36, No.2, 2011, pp. 803-811.
- [4] G. Lindo, S. Mani, J. Kastner, "Torrefaction reaction kinetics of southern pine wood", Bioenergy Engineering Conference, Washington, October 11-14, 2009.

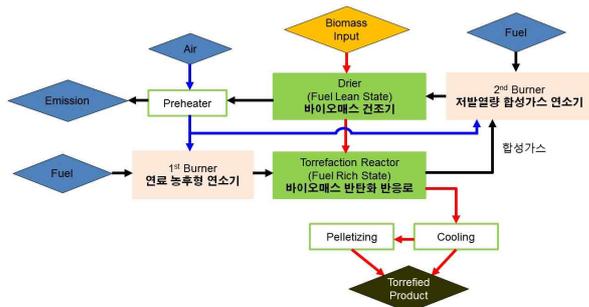


Fig. 1 Oxygen free biomass torrefaction system

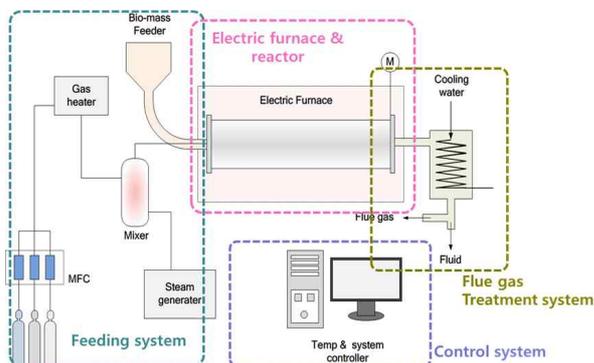


Fig. 2 Experimental setup