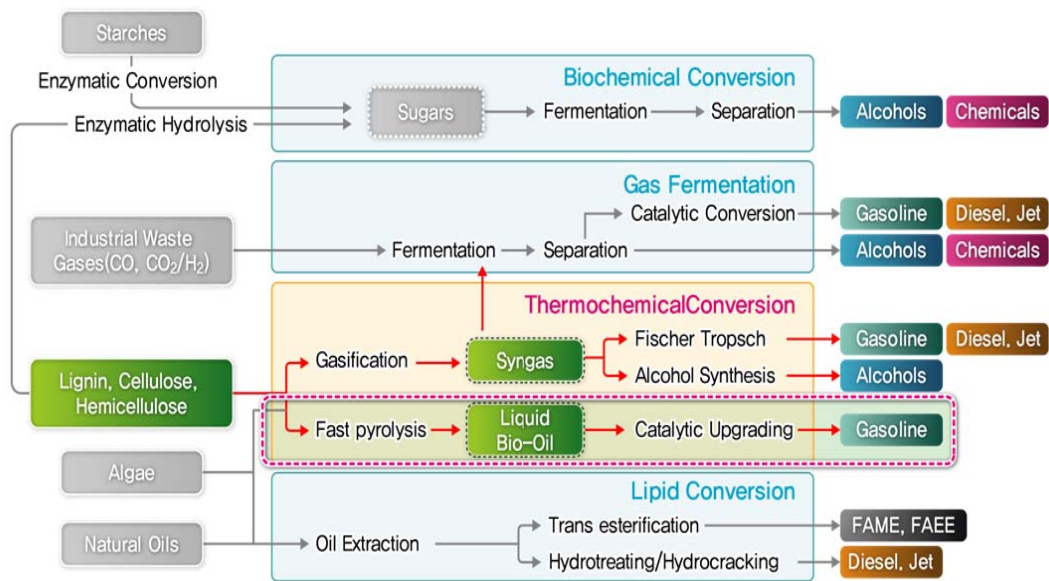


바이오매스의 열화학적 변환공정의 개요

한국석유관리원 석유기술연구소

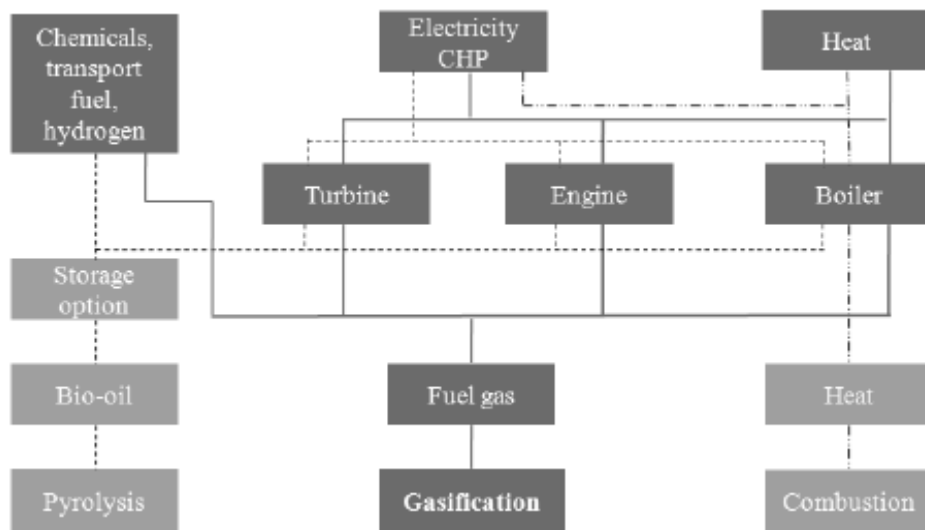
김재곤 (jkkim@kpetro.or.kr)

세계 각국이 현재 경제성 관점이 아닌 장기적 시각에서 에너지 안보, 에너지원 다양화 및 온실가스 감축 등의 목적으로 신재생에너지를 확대 추진하고 있는 상황이다. 국내·외적으로 이러한 신재생에너지 확대에 따른 보급비용 중 바이오에너지의 보급을 증진하기 위해서는 지속가능한 새로운 바이오에너지의 개발이 중요한 실정에 있다. 바이오매스(Biomass)는 육상 및 해상에 존재하는 생물자원을 총칭하는 의미로 사용되며, 적절한 전환기술을 통해 연료 및 화학물질을 생산할 수 있는 재생가능한 자원이다. 바이오연료로 전환할 수 있는 바이오매스는 1세대인 사탕무, 옥수수, 사탕수수, 유채, 대두, 해바라기와 같은 식량계 작물이 있으며, 2세대는 목질계 바이오매스(lignocellulosic biomass), 그리고 3세대인 미세조류(micro-algae)와 거대조류(macro-algae)로 구분할 수 있다. 이런 바이오매스 자원을 물리적·화학적 에너지 전환기술을 통해 바이오연료로 전환시킬 수 있다. 이러한 바이오매스의 열화학적 공정을 통한 바이오에너지화 공정 개략도를 <그림 1>에 정리하였다.



<그림 1> 바이오매스의 열화학적 공정을 통한 바이오에너지화 개략도

특히, 셀룰로오스계 바이오매스는 적절한 물리·화학적/열화학적 가공공정을 거치면 펠릿, 바이오에탄올(부탄올), 바이오가스 및 바이오오일 등의 바이오연료 형태로 변환하여 화석자원을 대신하여 발전난방용이나 수송용 연료 등으로 활용할 수 있다. 특히, 셀룰로오스계 바이오매스를 이용한 다양한 바이오에너지 변환 기술과 이에 따른 바이오연료 형태를 보여준다. 바이오에너지 변환기술은 크게 물리적 변환공정, 생화학적 변환공정(Biochemical platform)과 열화학적 변환공정(Thermochemicalplatform)으로 구분되어진다.



<그림 2. 바이오매스의 열적 전환공정>

이 중에서 바이오매스의 열화학적 변환 공정(thermochemical process)는 크게 연소, 열분해, 가스화로 구분된다. 연소(Combustion)는 바이오매스에 포함되어 있는 탄소와 수소가 과도한 산소와 결합하여 이산화탄소와 물을 만들면서 열을 발생하는 과정을 의미한다. 개도국 및 농촌에서는 바이오매스의 직접 연소를 통해 취사에 많이 사용한다. 산업분야에서는 목재와 목탄 등이 주로 연료로 사용된다. 연소 과정은 상업적인 규모에서 공정관련 기술이 잘 확립되어 있어 이용에 문제가 없다. 최근에는 바이오매스를 석탄과 혼합하여 연소하는 기술도 도입되고 있다. 현재 열적 전환공정 중에서 가장 많이 이용되어지고 있는 방법으로서, 열병합 발전소 등지에서 리그노셀룰로오스 바이오매스를 연료로 사용하여 그 연소열을 다양한 장비를 이용하여 기계적인

힘이나, 전기로서 회수하는 기술이다. 이 방법을 사용할 때에는 리그노셀룰로오스 바이오매스를 직접 연소시키는 방법과 chip이나 pellet의 형태로 가공하여 연소시키는 방법이 있다. 특히 pellet 형태로 소각할 때는 그 가공비는 많이 요구되나 연료의 자동 공급이 가능한 장점을 지니고 있다. 이 방법은 다른 열적전환 방법에 비해 단순한 공정이 장점이나 에너지 효율이 낮고 그 음 및 대기오염물질의 방출 등이 문제되어질 수 있다.

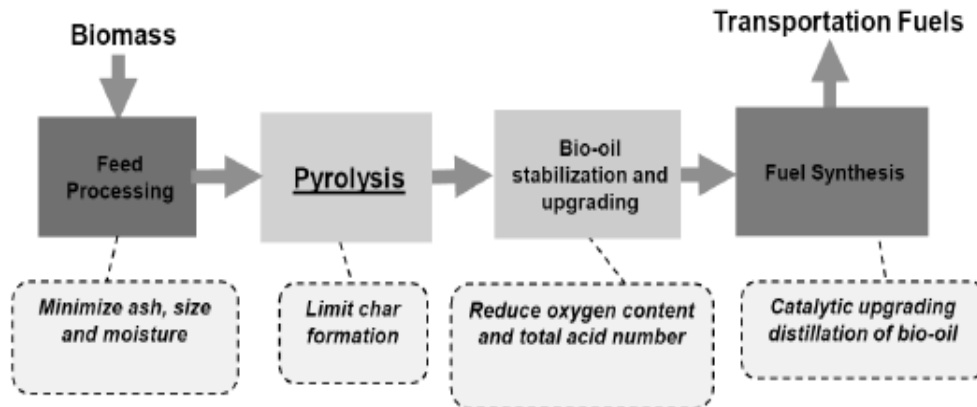
열분해(Pyrolysis)는 산소가 없는 조건에서 바이오매스의 열에 의한 분해를 의미한다. 이러한 반응을 통해 목탄과 같은 고체상태의 반응물, 바이오오일(열분해 오일)과 같은 액체 상태의 반응물과 가스 상태의 반응물을 얻을 수 있다. 이러한 3가지 종류의 반응산물의 상대적인 양은 열분해 공정에서 온도와 반응시간에 의해 비율이 결정된다. 일반적인 열분해 온도는 450°C에서 550°C 사이에서 진행된다. 그 결과 바이오오일이 최대 70%정도 얻어지며 기타 바이오차와 같은 목탄과 가스 형태의 물질로 구성된다. 느린 열분해는 보통 탄화라는 표현이 가능하며, 공정이 잘 확립되어 있다.

가스화(Gasification)는 제한적인 바이오매스의 산화 과정에서 발생한다. 가스화 과정은 연소반응의 이론적 산소량보다 적은 양의 산소 공급으로 이루어지는 부분산화(partial oxidation)공정이다. 가스화 공정의 주 생성물은 H_2 , CO , CO_2 , CH_4 및 소량의 저분자 탄화수소를 포함하는 가스로서 저발열량 또는 중발열량을 가지고 있다. 따라서 가스 생성물을 연소하여 열을 회수하거나 생성가스로 가스터빈이나 가스엔진을 구동시켜 전기를 생산할 수 있는 공정으로 가스화가 운영되어진다. 열회수나 전력생산 이외에도 가스화의 생성물은 메탄올을 비롯한 탄화수소류 및 다양한 화학물질을 합성하기 위한 원료로 이용하기도 한다. 연료 가스의 에너지 밀도는 5 ~ 20 MJ/m³으로 다양하다. 이러한 차이는 바이오매스의 종류와 가스화 방법 및 조건에 따라 다르다. 일반적으로는 천연가스의 10에서 45% 정도의 에너지량을 가지며, 개질 공정에 따라 바이오매스 합성 가스 등으로 고품질의 혼합 가스 제조가 가능하다. 이렇게 제조된 가스는 발전기와 연결되어 전력 생산에 이용될 수 있으며, 디젤과 같은 수송용 연료 제조도 가능하다. 인도와 중국에서는 바이오매스의 가스화 장비를 이용하여 열공급과 건조 등을 가능하게 하는 장비도 개발되었다. 연소와 비교하여 가스화가 좀 더 효율적이고 열공급 조절에 효과

적이며, 전력 생산 시 효율이 상대적으로 높은 것으로 알려져 있고 화학물질과 연료의 동시 생산이 가능한 것으로 알려져 있다.

IPCC에서는 2011년 바이오매스를 열화학적 공정을 통해 얻는 에너지 생산 기술의 단계를 기초연구단계, 실증단계, 초기 산업규모 단계, 산업화 단계 등 4개의 단계로 분류하고 있다. 특히 목질계로부터 얻는 바이오오일을 포함하는 열분해는 초기 산업화까지 가능한 것으로 분석되었다. 그러나, 국가별 연구 투자 및 연구 수준에는 차이가 있는 것으로 분석된다. 바이오매스의 열화학적 변환 공정을 이용하여 에너지 및 연료를 생산하는 방법은 최종 목적에 다양한 공정을 거치게 되며 석유화학산업에서 원유를 이용하여 수많은 화학제품을 생산하는 것과 유사하게 매우 복잡하다.

바이오매스의 에너지 전환기술 중, 최근 주목받는 기술에는 바이오오일 생산 기술이 있다. 바이오오일은 바이오매스를 산소가 없는 조건 하에서 500℃ 내외의 고온에서 짧은 시간 동안 반응시켜 연료로 변화하는 급속열분해를 통해 생산되고 있다. 급속열분해를 통한 바이오오일은 최초 건조 바이오매스 기분 최대 75 무게%까지 생산할 수 있지만, 일반적으로 바이오오일은 바이오매스 기준 60-75% 수준에서 얻을 수 있다.



<그림 3. 바이오매스로부터 바이오오일의 생산 개략도>

<그림 3>에서 보는 바와 같이 바이오매스를 급속 열분해(fast pyrolysis)하여 얻는 액체연료로서 고체 원료에 비하여 에너지 밀도가 높아 운반, 저장 비용이 적게 들 뿐만 아니라 액체이므로 취급이 용이하여 난방용, 발전용 연료로

서 이용가치가 높다. 미국의 바이오매스 프로그램에서는 이러한 바이오오일을 고품질로 개질하여 최종적으로 수송용 연료인 휘발유나 경유 대체 연료로 사용하는 계획을 수립하고 있기도 하다.

앞으로 주요 선진국의 바이오매스 기반 열화적 변환 개발, 셀룰로오스계 바이오연료 생산공정 개발, 급속 열분해의 제조 및 특성, 급속열분해 이용 바이오오일의 생산공정 개발 동향 및 바이오일 연료특성과 부산물의 활용기술 동향 등을 알아보하고자 한다.

[참고문헌]

1. 김재곤 외, 바이오매스로부터 급속 열분해를 통한 바이오오일의 생산기술 연구동향, 한국유화학회, 31(3), 453 (2014).
2. 한국에너지기술평가원. 2012. 에너지기술개발 전략로드맵 : 바이오매스 에너지. 산업통상자원부.
3. 김주식, 바이오매스의 열분해 기술 특성 및 동향-리그노셀룰로오지 (Lignocellulosic) 바이오매스를 중심으로, 공업화학전망, 15 (6), 2 (2012)
4. W.G. Hohenstein and L.L. Wright, Biomass and Bioenergy, 6, 161 (1994).
5. D.L. Klass, "Biomass for Renewable Energy, Fuels and Chemicals," Academic Press, 495 (1998).