

해외 주요 선진국의 바이오매스 열화학적 변환 연구동향

한국석유관리원 석유기술연구소
김재곤 (jkkim@kpetro.or.kr)

유럽에서 2009년 발효된 신재생에너지 지침에 따르면, 최종 에너지 소비의 20%, 모든 형태의 운송 수단에 사용되는 연료의 10%를 바이오연료를 사용토록 하겠다는 내용을 포함하고 있다. 이와 더불어, 연료 품질 지침서(Fuel Quality Directive)에서는 도로 운송 연료가 배출하는 온실가스 배출량의 6%를 저감하겠다는 내용을 담고 있다. 이러한 법률적 체계에서의 지원은 SET-Plan에서의 목표를 가능하게 하고 있으며, EU를 통합된 하나의 단위체로 보고 전략적으로 접근하고 있다. 유럽에서 바이오매스를 이용한 에너지 공급 확대 정책에서 재미있는 점은 가중치를 2배로 인정하는 것으로 신재생에너지 지침 21.2항에 명시되어 있는 내용이다. 여기에는 바이오에너지 및 연료를 생산에 포함되는 원료에 대하여 기존의 바이오에너지 산업에서 사용되지 않았던 원료들에 대하여 가중치를 2배로 할 수 있다는 조항을 포함시킴으로써 새로운 미이용 바이오매스 자원의 고부가가치 용도로 사용을 권장하고 있다[10].

EU의 산업분야에서 바이오에너지 이용을 확대하기 위한 계획(European Industrial Bioenergy Initiative)이 수립되었다. EIBI는 EU의 SET plan에 포함된 계획으로 가장 큰 목표는 산업분야에 대단위 규모로 이미 기술적 성숙한 고효율의 바이오매스 열병합 발전 설비를 도입하고 관련 바이오연료 기술을 발전시키는 것을 목표로 하고 있다(표 1). 유럽의 주요 에너지 정책인 SET Plan이 2008년 승인된 이후 2010년부터 EIBI가 추진되고 있다. EIBI에서는 현재의 바이오연료, 열병합 발전, 바이오가스 등과 같은 상업적 규모로 운용이 가능한 기술을 배제하고 혁신적인 바이오에너지 가치 사슬을 창출하는 것에 장기적인 방향을 설정하고 있으며 대규모 확산을 가능한 기술을 대상으로 하고 있다. 특히 디젤, 항공유와 같은 급성장하고 있는 수송용 연료 분야에서 화석연료 대비 가격 경쟁력 유지와 관련 유럽 기술의 선도적 지위를 강화

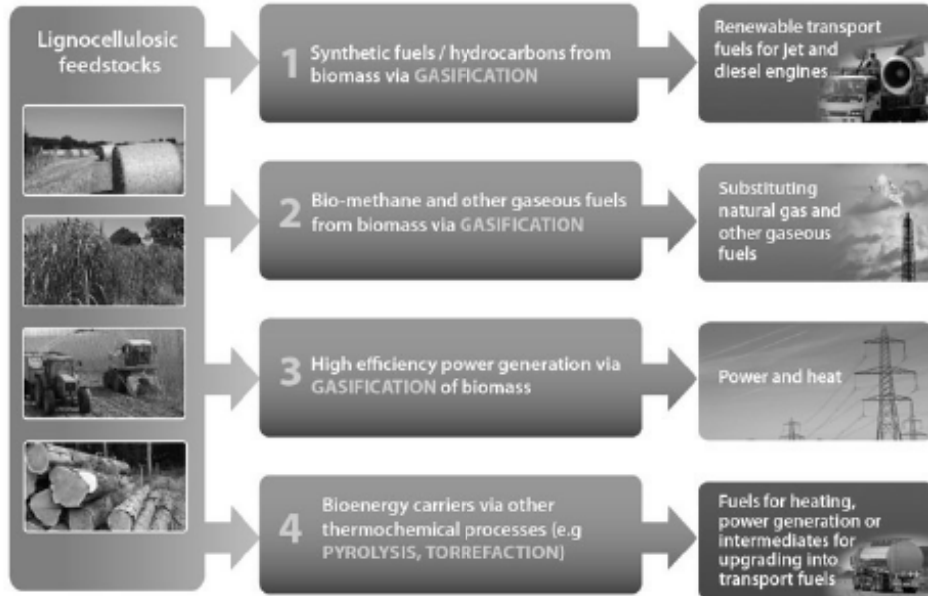
하는 것이 주요 목표이다. 구체적으로 설정된 목표는 2020년까지 기타 에너지와 비교하여 가격 경쟁력을 가지며, 지속가능한 바이오에너지를 EU 전체 에너지의 최소 14%까지 끌어올리는 것이다.

EIBI가 SET plan 승인과 더불어 시작되었으며, 이를 효과적으로 수행하기 위해 유럽 바이오연료 기술 플랫폼(European Biofuels Technology Platform)을 구성하고 산학연이 통합되어 연구를 수행하여 나가는 시스템을 구축하였다. 여기에는 바이오매스의 안정적 공급관련 연구개발에서 대형 설비의 설계 및 건설 기술 및 최종 소비자에게 공급관련 기술을 모두 망라하여 협동연구체제의 시스템을 갖추고 있다. 최근 유럽에서 컨소시엄 형태로 진행되는 대규모의 신재생에너지 관련 연구과제에는 각국의 대학 및 연구소 뿐만 아니라, 중대형의 에너지 업체들 및 관련 부품의 엔지니어링 업체들이 대거 참여하고 있는 것을 보아도 연구 시스템의 효율성 등이 확인된다.

<표 1> EIBI의 7개 주요 투자 분야

연번	주요분야	적용기술
1	합성연료 및 합성 탄화수소 (Synthetic Fuels/hydrocarbons)	가스화
2	합성 바이오메탄과 가스상 연료 (Synthetic Biomethane and gaseous fuels)	가스화
3	고효율 발전(IGCC) (High efficiency power generation)	가스화
4	바이오에너지 운반체 (Bioenergy carriers(pyrolysis&torrefaction))	열분해, 반탄화
5	에탄올 & 고차 알코올 (Ethanol & higher alcohols)	발효
6	재생가능한 탄화수소 (Renewable hydrocarbons)	화학공정
7	미생물 (Micro-organisms)	미생물 이용 공정

“해외 주요 선진국의 바이오매스 열화학적 변환 연구 동향” - 제2회

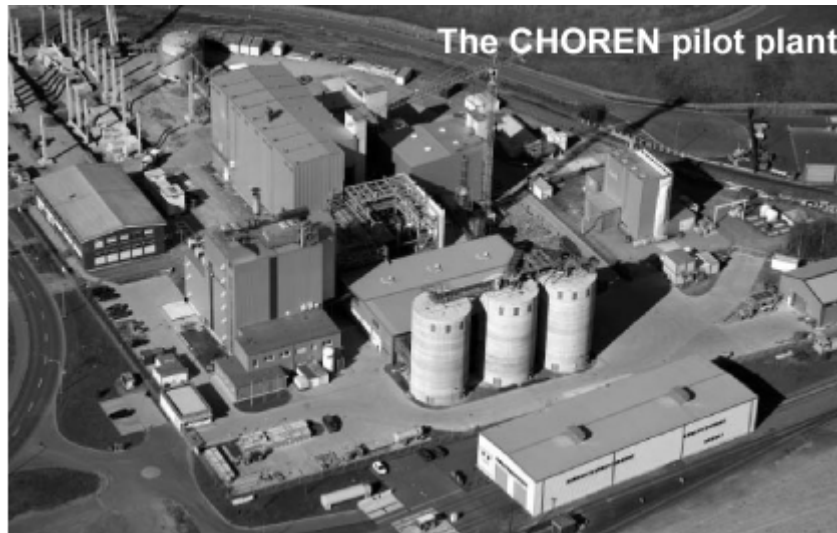


<그림 1> EIBI에서 제시하는 바이오매스 열화학적 변환 공정과 적용 분야



<그림 2> EBTP 홈페이지(http://www.biofuelstp.eu)

EIBI에서 제시하는 바이오매스의 열화학적 변환 공정에서는 <그림 1과 그림 2>에서와 같이 주로 바이오매스 가스화를 이용한 탄화수소 생산, 가스상의 연료, 열병합발전과 열, 전력 또는 수송용 연료 제조의 기본 물질로 사용 가능한 바이오매스의 열분해와 반탄화를 주요 연구 방향으로 제시하고 있다.



<그림 3> 합성연료 또는 합성 탄화수소 제조 사례1[10]

7개 주요 투자 분야 중 가스화를 통한 합성연료 또는 합성 탄화수소 생산 사례에 있어서는 유럽에서 7.8백만유로를 지원받아 독일 Freiberg에 위치한 CHOREN에서 BtL(Biomass to Liquid) 기술의 대규모 실증 사업을 설립하였다. 최대 연간 20만톤의 액상 제품을 생산하는 것을 목표로 하고 있으며, 이를 위해 설비 주변 200ha의 경지에서 속성수종인 포플러, 버드나무, 에너지 작물을 경작하고 있다. BtL 기술의 주요 핵심은 1,400℃의 높은 온도에서 바이오매스를 가스화 하여 생성된 가스를 Fisher-Tropsch 공정을 통해 수송용 연료 제조하는 공정이다. 또 다른 주요 사례로서는 재생가능한 자동차 연료를 제조하기 위해 펄프 공정에서 생산되는 흑액을 이용하여 Bio-DME(DimethylEther)를 생산하기 위한 설비로 공정관련 기술은 Chemrec에 의해 개발되었다. 사례2에서 제시된 설비는 스웨덴의 펄프제조 설비업체인 Smurfit Kappa로 실증규모의 설비이다. EU에서는 8.2백만유로를 지원하였으며, 설비 개발 컨소시엄은 볼보에 의해 주도되고 있고, 기타 관련 기술 개발 및 연구를 위해프랑스 Total, Delphi 등이 참가하고 있다. 본 실증설비의

Bio-DME 생산 규모는 하루 4톤으로 설계되었다. 현재 불보에서 생산되는 트럭을 활용하여 시험이 진행 중이다.

바이오매스의 열화학적 변환 공정을 이용한 유럽의 주요 투자 사례로 바이오에너지운반체에 실증설비가 있다. 유럽 Empyro사에 진행 중인 급속열분해 바이오오일 제조를 위한 실증 규모 설비로 시간 당 5톤의 바이오오일 생산 규모로 설계되었으며 바이오오일의 최종 이용까지 실증하는 것으로 목표로 하고 있다. 유럽연합에서 5.0백만유로를 지원 받은 이 설비는 2012년 하반기에 건설을 시작하여 2013년 말에 시험가동을 할 것으로 예상된다. BTG(Biomass to Gas) 공정을 통해 주요 산물로 열병합 발전에 사용될 바이오오일과 더불어 초산을 생산한다.



<그림 4> 합성연료 또는 합성 탄화수소 제조 사례 2

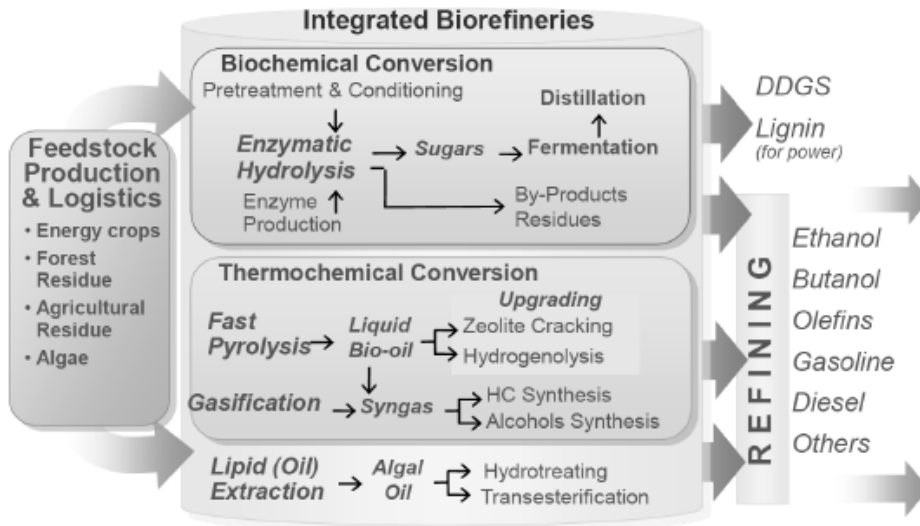


〈그림 1-10〉 바이오에너지 운반체 실증 설비 구축 사례[10]

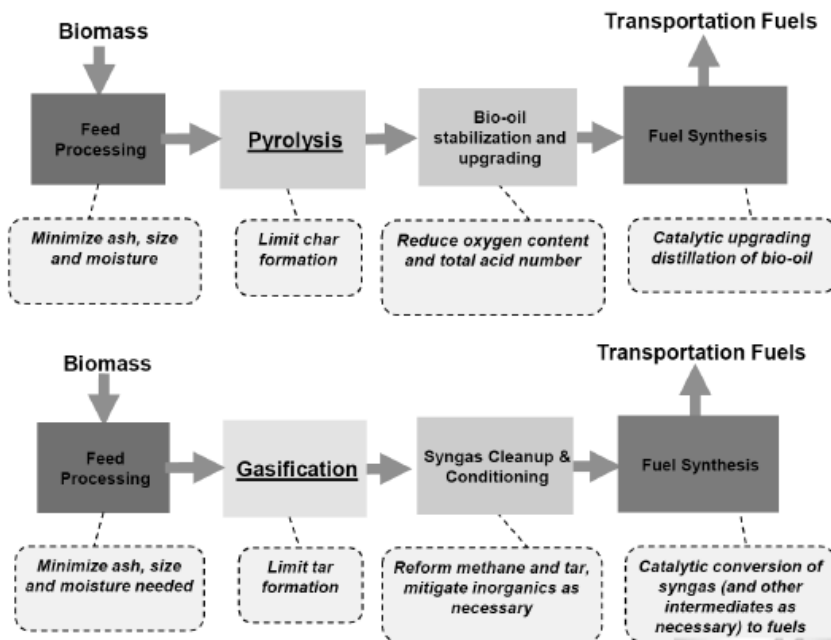
〈그림 5〉 바이오에너지 운반체 실증 설비 구축 사례

미국 바이오매스 프로그램(그림 6)에서 진행 중인 바이오매스의 열화학적 변환 공정은 크게 두가지 개념으로 구분된다. 무산소 조건에서 바이오매스를 열분해하여 바이오오일(또는 열분해오일)(그림 7)의 바이오매스 프로그램에서 주요 바이오매스 열화학적 변환 공정(상) 열분해(Pyrolysis), (하) 가스화(Gasification)[15] 열분해 오일)을 생산하고 다양한 화학 공정을 통한 개질로 수송용 연료를 합성하는 공정과 바이오매스를 고온에서 가스화하고 메탄, 수소, 일산화탄소 등의 기체를 이용하여 Fisher-Tropsch 반응을 통해 수송용 연료를 합성하는 공정이다. 관련 기술의 연구 개발이 활발하게 추진됨에 따라 바이오매스 열화학적 변환 공정에 대한 구체적인 목표를 설정하였다. 열화학적 변환 공정에서 바이오오일의 경우에는 가스화에 비해 상대적으로 장기 계획을 가지고 연구가 수행되고 있다. 바이오매스의 열화학적 변환 공정 중 바이오오일은 좀 더 장기적인 계획을 수립하여 추진 중에 있는데 주요 목표를 생산된 연료의 목표 가격을 수립하였다. 2017년에 바이오오일을 이용하여 생산하게 되는 디젤과 휘발유의 생산 가격은 갤런 당 2.15달러로 2007년 기준 원화로 환산하면 1 리터 당 533원을 목표 가격으로 선정하였다. 공정의 개선 등을 통하여 변환 공정에 소요되는 비용을 1 리터 당 387원으로 낮추는 것을 목표로하고 있는데 여기에는 바이오오일의 개질에 사용되는 촉매의 지속성을 329일까지 높이고 목재 1 톤으로 부터 회수하는 휘발유와 디

젤의 수율을 106 갤런 즉, 401 리터까지 증가시키는 것을 목표로 하고 있다. 반면에 바이오매스의 가스화 공정에서는 단기적인 차원에서 목표를 수립하였으며 2012년까지 가스화 및 F-T 공정을 통한 에탄올 가격을 1 리터 당 389원으로 낮추고 공정에 소요되는 비용을 리터 당 213원까지 낮추는 것으로 목표로 한다.



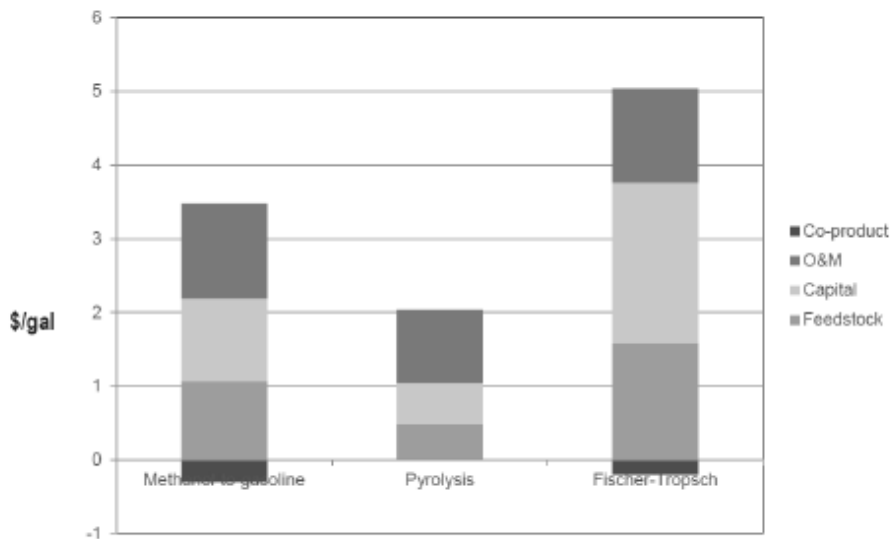
<그림 6> 바이오매스 프로그램의 주요 연구 추진 구조



<그림 7> 바이오매스 프로그램에서 주요 바이오매스 열화학적 변환 공정
(상) 열분해(Pyrolysis), (하) 가스화(Gasification)

최종 목표는 바이오매스로부터 생산되는 바이오연료가 화석연료와 가격 경쟁력에서 동등하거나 우위를 갖출 수 있는 시스템을 구축하는 것이라 할 수 있으며, 여기에 공급의 안정성 확보를 위한 인프라 구축과 공정 효율 개선관련 연구가 포함된다. 전통적으로 많은 연구가 진행되어 온 바이오매스의 생물학적 변환 공정에 비하여 화학적 변환 공정은 공정이 단순하고 연속식 공정 개발이 용이하며, 대규모 설비에 적합한 형태를 지니고 있다.

2012년도에 미국 에너지성에서 발표한 자료에 따르면 수송용 탄화수소 바이오연료를 생산하기 위한 공정 비용을 분석한 결과에 따르면, 2009년도 자료를 기준으로 열분해 공정을 통한 바이오오일이 가장 저렴한 공정비용을 보이는 것으로 분석되었다. 가스화 반응 후의 단계인 F-T공정은 1 갤런당 약 5달러가 소요되고, 메탄 가스를 휘발유로 전환하기 위해서는 약 3.5달러가 소요되는 반면에 열분해의 경우에는 약 2달러 수준으로 낮게 분석되었다.



〈그림 1-15〉 바이오매스 열화학적 변환 공정 간 소요 비용 비교[9]

〈그림 8〉 바이오매스 열화학적 변환 공정 간 소요 비용 비교

[참고문헌]

1. 김재곤 외, 바이오매스로부터 급속 열분해를 통한 바이오오일의 생산기술 연구동향, 한국유화학회, 31(3), 453 (2014).

2. 자료출처 : <http://www.biofuelstp.eu>
3. Maniatis, Kyriakos. 2011. EU Perspectives on Thermochemical Biomass Conversion. tcbiomass 2011. 28~30 September, Chicago, IL, USA.
4. 한국에너지기술평가원. 2012. 에너지기술개발 전략로드맵 : 바이오매스 에너지. 지식경제부.