

해외 차세대 바이오연료 기술개발 동향

임천수
GS칼텍스 업무1팀 과장

해양 바이어매스(미세조류) 양산 기술을 통한 바이오디젤 원료개발

미세조류의 오일 생산성을 높이기 위해 지질함량과 성장속도가 높은 미세조류종을 자연계로부터 분리하려는 연구와 BT기술을 이용하여 미세조류의 형질 개량을 통해 오일 생산성을 획기적으로 높이려는 연구가 동시에 추진되고 있다.

미세조류를 고농도로 대량 배양할 수 있는 광생물반응기의 개발에 대한 연구가 수행중이며, 일부에서는 파일럿 실증을 위한 미세조류 배양 설비를 운전 중이다. 미국의 Solarzyme사는 유기성 폐수를 활용하여 미세조류를 대량 생산 후 바이오디젤 생산 원료로 활용하는 기술의 상용화를 위한 파일럿 실증연구를 진행중에 있다.

미국의 Solix사와 독일의 IGV-GmbH 등은 발전소 또는 산업체에서 배출되는 이산화탄소를 기질로 미세조류를 대량 생산 후 기름을 추출하여 바이오디젤 생산원료로 활용하는 기술개발 및 파일럿 연구를 수행중이다.



목질계 바이오매스 전처리 기술을 통한 바이오알콜 원료개발

미국, EU에서는 옥수수, 대, 볏짚 및 포플라 등의 목질계 바이오매스로부터 에탄올 생산 원료로 활용 가능한 당성분인 셀룰로스와 헤미셀룰로스를 효율적으로 분리할 수 있는 다양한 전처리 기술 개발 연구를 진행중이다. 많은 기업들이 목질계 에탄올 생산 공정의 상용화를 위한 데모 공정을 운전중이다.

전처리 공정에 의해 확보된 셀룰로스를 효율적으로 당화하는데 필요한 효소 생산 비용을 절감하기 위한 연구도 미국 DOE 지원으로 효소 전문 생산기업인 덴마크 Novo와 미국 Genencore에 의해 진행되었으며 연구를 통해 당화 효소 생산비용을 기존 공정 대비 1/10 이하로 줄인 것으로 발표한다.

차세대 바이오디젤 생산기술

고체촉매를 적용하여 바이오디젤을 생산하는 공정은 프랑스 Axen Inc에 의해 개발된 바 있으나, 동 공정에서는 저급 폐유지가 아닌 순수한 식물성 기름만이 원료로 사용 가능하다는 단점이 있다. 유리지방산 함량이 높은 저급 폐유지를 바이오디젤로 전환하는 공정은 오스트리아의 BDI가 상용화에 성공하였지만 동 공정에서는 액상 촉매인 황산을 사용하여 폐수 발생 문제가 있다.

이에 BDI는 저급 폐유지로부터 바이오디젤을 생산할 수 있는 고체촉매 개발 연구를 진행 중이다. 수소첨가에 의해 물성을 개량한 바이오디젤인 HBD(Hydrotreating Biodiesel)를 생산하는 공정은 핀란드 Neste Oil이 세계에서 유일하게 상용화 기술을 보유하고 있다. 일본의 JXNOE(구 일본석유)도 HBD 관련 기술을 개발중인 것으로 알려져 있다.

바이오부탄올 및 비알콜계 바이오연료 개발동향

미국의 Dupont과 영국의 BP는 2006년 바이오부탄올 관련 연구를 공동으로 추진할 것을 합의하여 기술개발을 진행하고 있으며, 특히 BP는 자체 생산한 바이오부탄올을 2009년 American Le Mans Series 경주용 차량에 공급하여 운전하였다.

프랑스 Metabolix Explorer 사는 국내 발효기 제작회사인 바이오트론으로부터 바이오부탄올 생산을 위한 연속 발효기를 구입하여 부탄올 실증사업을 추진하고 있다. 미국 Gevo사는 2009년 Cargill사의 효모균주를 취득하여 이를 부탄올 사용에 적합하게 개량하였으며, 에탄올 생산 실증 플랜트를 개조하여 부탄올 실증 사업을 추진하고 있다.

영국의 Green Biologics사는 2010년 12월 중국 바이오회사인 Lianyungang Union of Chemicals와 Guangxi Jinyuan Biochemical사에 부탄올 발효 기술을 제공하는 것에 합의하였고, 이 중국의 두 회사는 현재 바이오부탄올 실증을 진행하고 있다.

비알콜계 바이오연료의 경우 바이오매스로부터 DME 생산 등과 같은 연구가 일부 수행되고 있다. 미국 LS9사는 최근 각광받고 있는 합성생물학 기술을 이용하여 미생물 지방산 합성에 관여하는 유전자 조작을 통하여 가솔린에 직접 첨가하여 사용이 가능한 탄화수소 물질 생산에 성공하였으나, 상업화를 위해서는 보다 연구가 필요한 것으로 알려져 있다.

고탄소 함유 바이오연료 연구동향

Fatty Acid(유기산)은 다양한 미생물의 대사과정에서 중간 산물이나 주요 부산물로 생산되어지며, C2~C4 유기산(아세테이트, 락테이트, 부티레이트, 수신네이트)생성 대사과정과 배양 기술에 대한 연구는 활발히 진행될 바 있다.

최근 지속가능한 자원 이용에 대한 관심이 높아지면서, 생물학적인 C2~C4 유기산뿐만 아니라 활용분야가 많은 C5 이상 유기산 생산에 대한 연구필요성이 증가하고 있으나 발표된 연구 결과는 미미하다.

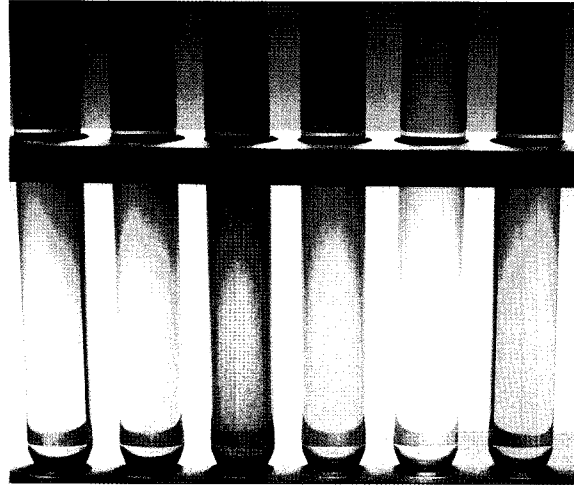
고탄소 함유 바이오연료는 주로 혐기성 미생물에 의해 생산되며 그 대표적인 미생물인 *Clostridium kluyveri*는 에탄올과 아세테이트를 탄소원으로 이용하여 헥사노익산(탄소수 6개의 저급포화지방산), 부티레이트, 수소를 생산하는 미생물로서 이러한 대사과정은 다른 미생물과는 구별되는 독특한 특성이다.

독일 Max Plank 연구소에서는 *Clostridium kluyveri*의 게놈을 2008년 발표하였으며, 이를 바탕으로 대사공학, 유전자 조작 등을 이용하여 헥사노익산을 포함한 주요 고탄소 탄화수소 생합성 부산물을 생산하는 기술을 개발할 것으로 예상된다.

UCLA의 Liao 교수 연구팀은 효율적인 바이오연료 생산을 위한 유전자 조작된 대장균 (*Escherichia coli*)을 이용하여 C4 이상의 바이오알콜 연료를 제조하는 새로운 방법을 개발했다. 탄소수 4개 이상으로 이루어진 알코올은 에탄올에 비해 에너지 함유량이 높을 뿐만 아니라, 물과 잘 섞이지 않는 특성이 있으므로 발효액과 알코올을 분리하는 공정이 간단해진다 는 장점이 있다.

Liao 교수팀은 부탄올을 생산하지 못하는 대장균에 부탄올 생산 경로를 설계하고 관련 유전자를 인위적으로 삽입하는 등 대사공학을 이용하여 부탄올 생산 대장균을 개발한 바 있다.

또한 최근에는 대사공학과 단백질공학을 이용하여 대장균이 생산하는 C4 이상의 여러 아미노산을 알코올로 전환하는 유전자 재조합 미생물을 개발하였다. 이 방법을 통해 1-부탄올, 1-펜탄올, 1-헥산올 뿐만 아니라 이소부탄올, 메틸 부탄올, 메틸 펜탄올, 메틸 헥탄올 등 연료로서 좋은 특성을 가지고 있는 알코올 생산이 가능해졌다.



미국 버클리대학의 Jay Keasling 교수가 이끄는 Joint BioEnergy Institute(JBEI, 미국 DOE 산하 바이오에너지 연구센터, 샌프란시스코 소재)의 연구자들은 산업용 효모인 *Saccharomyces cerevisiae*를 이용하여 부탄올을 생합성하는 공정을 개발하고 있다.

부탄올 *Clostridia* 미생물로부터 혐기성 발효를 통해서 생산할 수 있으나, *Clostridia*의 유전자 조작 방법의 제한, 느린 성장 속도, 10 g/L 이상의 부탄올에 대한 생장 저해, 부산물(부티레이트, 아세톤, 에탄올 등)의 생산 등의 문제점이 있으므로, 이를 극복하고자 상업화에 보다 적합한 효모를 이용한 부탄올 생산을 연구하고 있다.

현재 Keasling 교수는 차세대 재생 탄화수소 연료들의 개발에 참여하고 있는 Amyris Biotechnologies와 LS9(미국 캘리포니아 샌 칼로스 소재)으로부터 재정지원을 받고 있다.

LS9은 합성생물학과 시스템생물학을 이용하여 미생물로부터 원유와 유사한 탄화수소를 생산하는 연구를 진행하고 있으며, 이를 위해 미생물, 식물, 동물 등의 생물체에서 지방산 생산에 관련되는 유전자를 조합하여 원하는 긴사슬 지방산을 제조하고, 이 지방산으로부터 탄산기(carboxylic acid group)를 제거함으로써 남게 되는 탄화수소를 원유처럼 사용하고자 연구 중에 있다.

이 과정에서 생산되는 합성원유는 일반원유와 달리 황 성분이 없으며, 에탄올과는 달리 물에 녹지 않으므로 반응기에서 바로 분리가 가능하다는 장점이 있다. Amyris Biotechnologies 회사 또한 식물, 동물, 미생물 등 다양한 생물체에 존재하는 mevalonate pathway를 대장균에 유전자 재조합하여 terpenoid 계통의 탄화수소를 만들고, 이를 연료로 사용하기 위한 연구를 진행하고 있다. ◆