

# 바이오에탄올 산업화 현황 및 전략



구 현 민  
삼성종합기술원  
hyunmin9.koo@samsung.com

## 1. 머리말

재생 가능하며 환경친화적일뿐만 아니라 기존 인프라에 큰 변화를 가하지 않고서도 화석연료를 대체할 수 있는 여러 대체 에너지 중, 특히 수송용 연료로 이용될 수 있는 바이오디젤 및 바이오에탄올이 크게 주목받고 있으며, 최근 일어난 멕시코 걸프만 기름 유출 사태에 의해 다시 바이오연료 산업화의 중요성이 강조되고 있다.

이미 여러 국가에서 석유를 대체할 다양한 수송용 연료 공급원 확보와 농촌 경제 활성화를 위해 바이오연료 확산 정책을 시행 중이며, 특히 미국과 유럽은 새로운 바이오연료 규정을 마련하여 현재 1세대 바이오연료가 가진 문제점을 해결하기 위한 지속가능한 첨단 바이오연료 생산 기술 개발을 촉진하고 있다.

본 고에서는 풍부한 농업자원을 바탕으로 바이오에탄올 상용화에 성공하고 현재 국제 바이오에탄올 시장 형성을 주도하고 있는 미국과 브라질을 중심으로 바이오에탄올 산업 추진 현황 및 전망에 대해서 살펴보고,

또한 다양한 바이오매스 원료로부터 첨단 바이오연료를 생산하기 위한 기술 개발 동향 및 정책등을 살펴봄으로써 향후 바이오에탄올 시장의 이슈를 도출하고 이에 따른 우리나라의 산업화 전략을 제시하고자 한다.

## 2. 주요국가의 바이오에탄올 산업화 현황

고유가 대비 및 온실가스 감축 부담 등으로 화석연료 대체 수송용 바이오연료 시장이 확대(전체 에너지

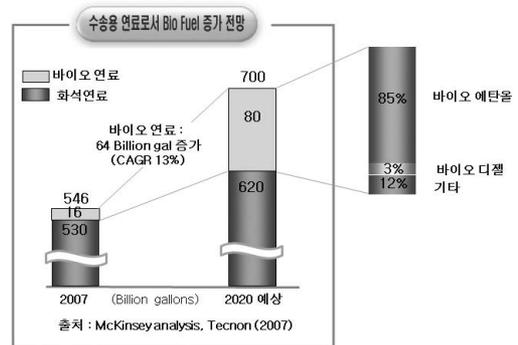


그림 1. 수송용 연료로서 바이오연료의 증가

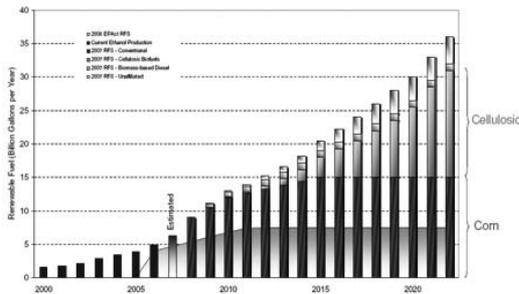


그림 2. 바이오에탄올 생산 전망  
(출처: World Biofuels Production Potential, DOE (2008.9))

사용량의 27%)되고 있으며 바이오연료 시장은 '08년 350억 달러 규모에서 '18년 1,050억 달러 규모로 급성장할 것으로 예상된다(출처: Clean Edge 2009). 특히, 2020년 수송용 연료시장은 전체 7000억 갤런 중 12% 정도(800억 갤런)가 바이오연료로 대체 될 것이며 그 중 85%가 바이오에탄올이 사용될 것으로 전망되고 있다(그림 1).

현재 전 세계 바이오에탄올 생산량은 500억 리터(2007년 기준)로 옥수수 기반의 미국과 사탕수수 기반의 브라질이 각각 246억 리터, 190억 리터로 전체 생산량의 88%를 차지하고 있으나 곡물계 바이오에탄올 생산은 식량자원과의 충돌 및 원료공급의 한계를 이유로 성장률이 감소하고, 대신 섬유소계 바이오매스를 이용한 바이오에탄올 생산의 성장이 급격히 증가할 것으로 예상된다(그림 2).

## 2.1. 미국

미국은 풍부한 농업자원을 바탕으로 식량자원인 옥수수를 이용하여 바이오에탄올을 생산하고 있다. 2005년 이후 에탄올 생산량은 2배로 늘어나 2007년

에는 246억 리터를 생산하였는데, ADM(연 64억 리터), POET(연 45억 리터), Verasun Energy(연 23억 리터)의 3대 업체가 생산의 40%를 점유하고 있다(출처: “The Political Economy and Ecology of Biofuels”, Monthly Review, 2008). 2008년 5월 기준으로 미국의 에탄올 생산 공장의 수는 147개로 중서부지역(Corn Belt)에 밀집해 있으며 연간 321억 리터의 생산규모를 가지고 있다(출처: “The Political Economy and Ecology of Biofuels”, Monthly Review, 2008).

그러나, 옥수수 사용 에탄올 생산은 식량 자원 충돌로 더 이상의 산업 확장은 어려울 것으로 전망된다. 2008년 이후 193억 리터 생산 가능한 55개의 생산공장이 건설계획 중에 있으나 최근 옥수수곡물 가격('06년 2월 부셸당 2.30달러에서 '08년 9월 5.50달러) 상승과 투자 금융 시장 붕괴로 보류된 상태이며 2008년 ADM을 제외한 다른 곡물계 바이오에탄올 기업들은 높은 옥수수 곡물 가격 상승으로 심각한 경영난에 처해 있다.

이러한 곡물계 바이오에탄올 한계를 극복하기 위해 미국 에너지성(DOE)은 섬유소계 바이오에탄올 상용화를 위해 6개의 기업체를 대상으로 비용 효율적이고 시판이 가능한 섬유소 바이오에탄올 생산목표를 2012년까지 달성하기 위해 집중 투자를 하고 있으나, 기술적인 어려움과 바이오매스 수집, 운반 문제로 인해 상용화가 지연되고 있는 실정이다(표 1). 최근 Poet사는 수집 및 운반 문제가 없는 옥수수 속을 이용한 섬유소계 에탄올의 생산단가를 갤런당 2.35달러까지 낮추는 데 성공하였고 이는 지금까지 발표된 결과 중 가장 상용화에 근접한 수준이다.

최근 들어 단위면적당 생산성이 우수하고 비 농경지

표 1. 미국 섬유소계 바이오에탄올 사용화 DOE 프로젝트 현황

프로젝트	현재상황	주요내용	최근동향
logen	중단	아이다호에 공장을 지어 밀짚등 이용 700ton perday(tpd)전환 18MGY 에탄올 생산 계획	캐나다 Saskatchewan에서 또 다른 프로젝트를 진행하기 위해 작업을 일시 중단
Alico	중단	목재 등 이용 770tpd 전환 13.9 MGY 에탄올 생산계획	너무 위험성이 큰 사업이라는 이유로 '08년에 이 프로젝트를 포기
BlueFire	불확실	캘리포니아 남부에 도심 매립지 목재 폐기물등 이용 700tpd 전환 24 MGY 에탄올 생산 계획	아직 공장 부지를 정하지 못한 상태
Abengoa	진행	캔사스에 공장을 지어 옥수수대등 이용 700tpd 전환 11.4 MGY 에탄올 생산계획	'10년 상반기 공장 건설 착수 및 '12년 생산 착수 계획
Poet	진행	아이오와 옥수수 에탄올 설비로 옥수수대 등 이용 700tpd 전환 26.4 MGY 에탄올 생산 계획	2억달러 규모의 상업용 셀룰로스-에탄올 공장은 '11년 생산 착수 예상
Range Fuels	진행	조지아주에 공장을 지어 목재 부산물 등 이용 1200tpd 전환 40 MGY 에탄올 생산 계획	개인투자자 및 미국 농무부로부터 총 1억 8,000만 달러 자금 모집.

표 2. 미세조류 이용 바이오연료 개발 회사 현황

회사	협력선	주요동향
Synthetic Genomics	Exxon Mobil	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exxon Mobil이 5~6년 동안 최대 3억 달러 투자 발표('09년 6월)</li> <li>• Exxon Mobil은 내부 연구개발 프로그램에 추가로 3억 달러를 지출 할 계획.</li> </ul>
Solazyme	Chevron	<ul style="list-style-type: none"> <li>• '08년에 Chevron과 원료 개발 및 테스트 계약을 맺음.</li> <li>• '09년 6월 현재 7,600만 달러의 자금 지원을 벤처 자본가들로부터 계속 받고 있으며 캘리포니아 에너지협회와 같은 정부 기관들의 지원도 받고 있음.</li> </ul>
Algenol	Dow Chemical	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dow Chemical이 에탄올 생산 연구에 7,000만 달러 투자</li> <li>• '09년 6월에 해조류 기반 설비를 시험적으로 설립 및 가동할 계획이라도 발표.</li> </ul>
Martek	BP	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BP가 바이오디젤 생산 연구에 1,000만 달러 투자</li> </ul>
Cellana	Shell	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HR BioPetroleum과 Shell의 JV설립</li> <li>• '10년 6월 DOE로부터 900만 달러 지원</li> </ul>
Sapphire Energy		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 빌게이츠와 록펠러 재단이 1억달러 투자('08년 9월)</li> <li>• Commercial scale between 2011 and 2013.</li> </ul>

를 이용할 수 있다는 장점을 가진 미세조류(microalgae)를 이용한 바이오연료 생산 기술 개발이 주목을 받고 있다. 미세조류를 이용한 바이오연료 생산에 대한 연구는 미국 국립에너지 재생 연구소인 NREL 에서 과거 10년간 바이오디젤을 제조하는 연구를 수행하였으나 원유의 가격이 미세조류를 이용하여 바이오 오일을 만드는 가격 경쟁력과 비교하여 훨씬

더 낮았기 때문에 1996년에 종료되었었다. 최근 오일 가격의 급등으로 인해 다시 연구가 재개 되어 최근 5년간 50개 이상의 벤처회사가 생겨났고, 또한, 거대 정유회사 또는 화학회사가 미세조류를 이용한 에너지 개발 벤처 회사에 투자를 하고 있다 (표 2).

특히, Algenol사는 미세조류의 일종인 cyanobacteria 라는 광합성 박테리아를 이용하여 빛,

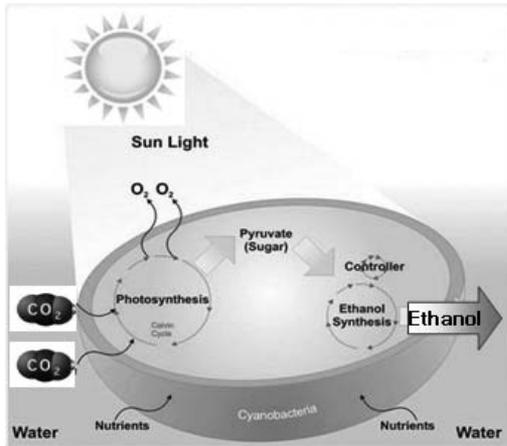


그림 3. Cyanobacteria cell factory  
(출처 : Algenol, 2009)

물, 이산화탄소로부터 직접 에탄올을 생산 분비하는 cell factory 개념으로 Dow Chemical 과 함께 상업화를 진행 중이다 (그림 3).

미국의 바이오에탄올 정책을 살펴보면, 2007년 1월, 부시 대통령은 석유연료 사용으로 배출되는 온실가스를 2017년까지 감축하는 방안을 제안하였으며, 2007년 12월 18일에 공포된 새로운 에너지법에 따라 2022년까지 1350억 리터의 바이오연료 소비한다는 목표를 설정하였고 그 중 790억 리터는 기존 옥수수 원료 이외로부터 생산하여 수송용 연료의 20%를 대체하겠다고 발표하였다 (출처: 미국 에너지 법안, "The Energy Independence and Security Act of 2007"). 2008년 기준으로 곡물계 바이오에탄올은 1 갤런(약 3.785리터) 당 0.51 달러가 보조되며, 섬유소계 바이오에탄올 산업화를 위하여 2012년부터 섬유소계 바이오에탄올은 1갤런 당 1.01 달러의 보조금을 지원 할 계획이고, 또한, 자국내 바이오에탄올 산업을 보호하기 위해서 현재 수입 에탄올에 대해서 리터당

0.12달러의 관세를 부과하고 있으나 해지할 법안을 계획하고 있다.

## 2.2. 브라질

브라질은 바이오에탄올의 세계 최대 수출국이자 미국에 이은 2대 생산국으로 바이오에탄올 산업을 통해 100만명 고용창출 효과를 얻음으로써 자국의 주요 산업이 되었다. 바이오에탄올의 원료인 사탕수수 경작에 적합한 기후 및 토양과 낮은 인건비와 저렴한 토지비용 등 유리한 물적·인적 조건 그리고 에탄올 연료의 조기 상용화 성공과 넓은 소비시장이 그 성공 요인이라 할 수 있다.

사탕수수를 이용한 에탄올 생산가(리터당 0.21 달러)는 공정면에서 옥수수 에탄올 생산가(리터당 0.60 달러, 미국 2008년 9월 수준, 높은 옥수수 가격)에 비해 상당히 유리하다. 브라질은 낮은 생산가로 미국의 리터당 0.12 달러의 높은 관세에도 불구하고 미국에 2007년 34억 리터 수출하였고 2008년 에탄올의 수출량은 42억 리터에 이를 것으로 예상된다(출처: "The sustainability of Brazilian sugarcane bioethanol, A literature review", Barber, Pellow and de Aragao Pereira, 2008).

향후, 브라질 에탄올 산업은 2012년 에탄올 생산 공장 387개 생산량 357억 리터, 2020년에는 750억 리터까지 생산 증가가 예상되고 있다 (출처: "The sustainability of Brazilian sugarcane bioethanol, A literature review", Barber, Pellow and de Aragao Pereira, 2008).

브라질의 에탄올 성공요인은 1973년 오일쇼크 이후로 정부의 적극적인 에탄올 산업 육성책(Pro-Ácool program: Programa Nacional do Álcool or

National Alcohol Program)을 통한 가솔린과 혼합 의무화, 세제 감면, 재정 지원이 바탕이 되었다. 특히 브라질에서 바이오에탄올의 성공은 두 가지 큰 요소 때문으로 첫째는 가솔린 연료의 바이오에탄올 혼합(20~25%)의 의무화이고 둘째는 flex fuel vehicle(FFV)의 시장 확대이다. FFV는 2008년 판매되는 차량의 90% 차지, 6백만 대 이상의 FFV차량이 팔렸으며 이는 전체 일반차량의 25%에 해당되고, 2015년에는 65%로 예상된다(출처: Sugarcane industry in Brazil, UNICA, 2007).

2008년 브라질의 룰라 대통령은 바이오에너지와 관련된 서유럽 국가들의 규제 움직임에 대하여 지구 온난화 방지를 위한 국제적인 노력에 배치되는 모순적인 행동임을 지적, 비판하였는데 이는 아마존 지역에 사탕수수 재배에 대한 경작 면적을 늘리겠다는 의도로 해석된다.

### 2.3. EU

EU는 가솔린에 대한 무거운 세금 부과, 디젤 엔진의 연비 효율 향상, 유채 등 농업자원 풍부로 바이오에탄올보다는 바이오디젤 위주로 시장이(전 세계 생산량의 70% 이상, 2006년 기준) 형성되어 있다.

2002년 12억 리터의 바이오디젤을 생산하였고, 2006년 5배에 달하는 56억 리터의 바이오디젤을 생산했으나 EU가 정해 놓은 목표는 아직 달성하지 못하고 있다(출처: “각국의 바이오연료 정책과 시사점”, LG ERI리포트, 2008). 유럽지역의 바이오디젤 보급 수준이 낮은 것은 생산지역에 한계가 있기 때문이고 원료 가격 상승에 따른 생산 원가 상승이 또 하나의 원인이다. 생산원가 중 원료의 비중이 80%를 넘고 있는데 최근 바이오디젤 원료 작물의 가격 폭등으로 인해 기존

화석연료 디젤과 겨룰만한 가격 경쟁력을 갖기 위해서 더 많은 세금 지원이 필요한 상황이다.

EU가 발표한 바이오연료 정책을 살펴보면 2007년 재생에너지 정책에서 2020년까지 전체 에너지 소비의 20%를 재생 에너지로 충당하고, 2020년까지 수송연료 소비의 10%를 바이오연료로 충당(섬유소재 바이오연료 30%, 수입 20% 전제)하는 것을 목표로 삼고 있다(출처: “세계신재생에너지동향”, 한국 신재생에너지 협회, 2008). 그러나, 최근 들어 식량가격 급등과 특히 개발도상국에서의 환경훼손에 대한 점증하는 우려 때문에 EU 에너지부 장관들은 EU 집행위원회가 제안한 2020년까지 수송연료 소비의 10%를 바이오연료 사용에서 8~10%내로 하향 조정하였다(출처: “세계신재생에너지동향”, 한국 신재생에너지 협회, 2008).

## 3. 바이오 에탄올 산업화 전략

McKinsey 분석보고서(2007)에 따르면 바이오연료 시장은 향후 10년 이상 바이오에탄올이 주도할 것으로 전망되고 섬유소재 바이오에탄올 생산기술이 보편화될 것으로 예상된다. 우리나라의 경우 선진국과 기술개발 측면에서 비교해 볼 때 시작은 늦었지만 발효기술 부분에서는 우리나라도 세계적인 수준이므로 바이오에탄올 산업화를 위해서는 차별화된 기술 개발과 정부 및 기업의 역할이 절실히 요구되고 있다.

### 3.1. 차별화된 기술 개발

국내 수송용 바이오연료 개발연구는 정부주도로 바이오에탄올과 바이오디젤을 중심으로 진행되었으며, 바이오디젤은 최근 상용화된 바 있다. 바이오에탄올

연구는 주로 1세대 원료의 발효를 위한 효모 균주 개발, 연속 발효 및 바이오에탄올 분리연구 등이 수행되어 왔고, 2세대 바이오연료 연구는 국내에서는 충분한 바이오매스를 확보하기 어려운 문제가 있으나 최근 들어 농임산 부산물 등을 이용한 연구가 대학과 연구소를 중심으로 진행되고 있으며, 해조류를 이용한 바이오에탄올 생산연구 또한 활발히 진행 중이다.

먼저, 섬유소계 바이오에탄올 생산 공정은 크게 전처리, 당화 및 발효로 구성되는데, 이중 전체 공정가의 15% 차지하는 당화 공정에 사용되는 효소 비용 절감을 위한 저렴한 효소 개발이 절실히 요구된다. 그러나 상용화되고 있는 효소 개발 분야는 Novozymes사와 Genencor 사가 선두주자로 기술 수준과 IP 장벽이 매우 높은 것이 현실이다. 따라서 당화 효소의 사용량을 절감 또는 사용하지 않기 위해 발효 균주가 직접 당화 효소를 발현하여 당화 및 발효를 동시에 수행할 수 있는 consolidated bioprocessing (그림 4) 균주 및 공정 개발이 유망할 것이다.

둘째로, 거대조류 (macroalgae) 바이오매스를 활용한 바이오에탄올 생산 기술 개발의 중요성을 들 수 있는데 아직 기술 수준이 초기 단계이고, 서구 선진 국가

들과 비교해 볼 때 우리나라를 중심으로 한 동아시아 국가들이 우수한 거대조류 양식기술을 보유하고 있기 때문에 원천 핵심 기술 개발을 통한 주도권 확보가 용이할 것이다.

마지막으로, 향후 5~10년 후 상용화가 예상되는 미세조류를 이용한 바이오연료 생산 기술은 크게 두가지로 나눌 수 있는데, 첫째는 미세조류 배양, 수확, 추출 기술을 통한 바이오디젤 생산 기술이고, 둘째는 미세조류가 직접 바이오디젤 및 바이오에탄올을 생산 및 분비하는 cell factory 기술이 있다. 최근 합성 생물학 발전의 도움으로 미세조류 분야도 cell factory 개념의 바이오연료 생산 기술 개발로 기술 흐름이 바뀌어 가고 있다. 이에 맞추어 우리도 아직 기술 초기 단계인 미세조류 cell factory 기술 개발 분야에 투자하여 원천 기술 확보를 통해 세계 바이오연료 시장 진입 및 선점의 기회를 가져야 할 것이다.

### 3.2. 정부 및 기업의 역할

위에서 살펴본 차별화된 기술 개발과 더불어 중요시 되는 것이 정부의 적극적이고 체계적인 지원이다. 이미 앞서 기술한 대로 미국, 브라질, EU 국가에서는 정부가 기술 개발 및 산업체 지원에 적극적으로 나서고 있고, 그 결과로 바이오에탄올 분야에서 앞선 기술력 보유와 산업화가 진행 중이다.

미국 DOE 의 경우 2세대 바이오연료 기술개발을 위한 바이오매스 프로그램을 통해 2012년까지 섬유소계 에탄올의 가격경쟁력 확보를 위한 체계적인 투자를 진행하고 있고, 2010년 6월에 조류를 이용한 바이오연료 생산 기술 개발을 위한 기술 로드맵 발표 및 3개의 컨소시엄 형태의 연구단 (아리조나 주립대학, 캘리포니아 대학 샌디에고 캠퍼스, 및 Cellana)에 3년간

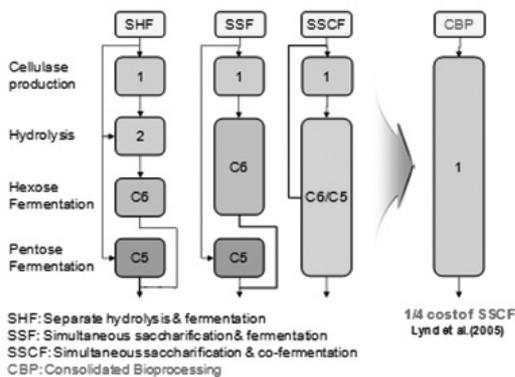


그림 4. 바이오에탄올 생산 통합 공정 (CBP)

2,400만 달러를 투자하겠다고 발표하였다. 특히, Cellana사는 미세조류 바이오연료화 기술을 보유한 HR BioPetroleum사와 거대 정유회사인 Shell 간의 조인트 벤처 (JV)로, 이는 정부가 기업의 투자 위험 부담을 일부 공유하면서 기술 개발을 장려하고자 하는 의지로 해석될 수 있다.

우리나라의 경우 2004년 12월 ‘신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법’을 추진, 2011년 에너지 소비량의 5%를 공급 목표로 진행하였고 (출처: “바이오에너지 시장동향과 대응과제”, 산은경제연구소, 2007), 2006년 10월부터 2년간 ‘바이오에탄올 혼합연료유 도입을 위한 실증평가연구’ 사업을 수행하였다. 그러나 아직 국내에는 연료용 바이오에탄올 시장이 형성되지 않고 있는데, 그 이유로는 낮은 경제성과 정부투자 및 지원의 부족, 취약한 산업적 기반 등을 들 수 있겠다.

지난해 기후변화협약이 발효되고 전 세계가 온실가스 의무 감축을 위한 각종제도를 시행하고 있는 상황에서 비록 우리나라는 의무 감축국은 아니지만 현 정부는 저탄소 녹색성장이라는 비전을 세우고 2020년 기준으로 예상되는 온실가스의 30%를 줄이려는 목표를 세웠다. 현재 온실가스 감축을 위한 신재생에너지 사용 중 수송용 바이오연료만큼 효과적인 것은 없지만

낮은 경제성이 보급에 가장 큰 걸림돌로 작용하고 있다. 이에 대한 해결책으로 단기적으로는 동남아 주변 국가의 농장 사업을 통해 풍부하고 값이 싼 지속가능한 원료확보에 주력하고 중장기적으로는 거대조류 바이오매스 개발 및 미세조류 바이오연료화 기술개발에 정부 지원 및 기업의 투자가 강화되어야 할 것이다.

#### 4. 맺음말

지구온난화에 따른 환경 문제와 에너지 안보의 중요성이 점점 더 강조되고 있는 가운데 우리나라도 바이오연료, 특히 바이오에탄올의 산업화가 절실히 요구되고 있고, 이를 위해서는 일관성 있는 정부 정책을 바탕으로 산업체, 학계 및 연구소 (이하 산학연)간의 원활한 협력이 필수적이다. 정부는 미국의 재생연료 보급 규정 (Renewable Fuel Standard)과 같이 중장기 로드맵을 작성하여 바이오연료 사용을 의무화함으로써 바이오연료 산업화에 효과적인 지원자 역할을 할 필요가 있고, 그러한 정부 지원 정책 바탕위에 산학연의 적극적인 협력이 차별화된 바이오연료 기술 개발 및 상용화를 앞당기는 길이 될 것이다.

기획: 홍성구 편집부위원장 bb9@hknu.ac.kr