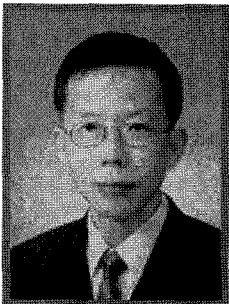
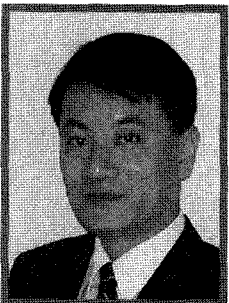


## 바이오에너지 기술의 현황과 전망

### Current Aspects and Future Prospects on Bioenergy R&D



이진석  
한국에너지기술연구원  
바이오에너지연구 센터장  
E-mail: bmjslee@kier.re.kr



박태현  
화학생명공학부 교수  
서울대학교 공과대학  
E-mail: thpark@plaza.snu.ac.kr

#### Abstract

본 고에서는 고유가에 대한 대응 효과가 높아 주목을 받고 있는 바이오에너지 기술의 개발 현황 및 전망에 대해 기술하였다. 바이오에너지는 열 또는 전기를 생산하는 여타의 신재생에너지원과는 달리 에너지의 장기 저장이 가능한 연료의 형태로 생산 가능하다는 장점이 있다. 바이오에너지 생산에 사용되는 원료인 바이오매스에는 유기성 폐기물, 농임산 부산물과 에너지 작물 등이 있으며 이들로부터 에너지를 생산하는데 적용되는 기술도 열화학적 기술과 생물학적 전환 기술이 있다. 적용된 기술에 따라 생산된 바이오에너지는 열, 전기뿐만 아니라 수송용 대체연료 등의 형태로 활용된다. 이러한 바이오에너지기술 중 일부는 상용화되어 실제 보급 중에 있으며 다른 기술들은 보다 미래 기술로 개발 중에 있다. 국내 외에서 상용화되었거나 개발 중인 주요 바이오에너지 기술의 R&D 현황 및 전망에 대해 요약하였다.

#### Key words

Bioenergy (바이오에너지), Biomass (유기물), Biofuels (바이오연료), Biorefinery (바이오리파이너리)

## 1. 서론

식물로 대표되는 바이오매스로부터 생산 가능한 바이오에너지는 다른 신재생에너지원과는 달리 생체 내에 저장된 화학에너지를 에너지로 이용하는 특징을 갖고 있다. 따라서 기존의 석유, 석탄, 천연가스 등의 화석에너지와 동일한 형태로 이용 가능하다. 다만 일단 사용하면 재생이 불가능한 화석계 연료와는 달리 바이오에너지의 원료인 바이오매스는 재생성을 가지므로 자원의 고갈 문제가 없다는 장점이 있다. 또한 바이오에너지를 사용할 때 발생하는 이산화탄소는 원료인 바이오매스가 자라는 과정에서 다시 흡수되므로 전주기(life cycle) 측면에서 분석하면 이산화탄소의 배출 효과가 매우 낮다는 장점도 있다.

그러므로 바이오에너지는 화석 연료의 과다 사용에 따른 에너지 고갈과 지구 온난화 문제 해결에 기여한다는 점에서 다른 신재생에너지원과 동일한 역할을 한다.

바이오에너지의 생산 원료인 바이오매스는 유기성 폐기물, 농임산 부산물과 에너지 생산 목적으로 경작된 에너지 작물 등으로 매우 다양하다. 이러한 바이오매스는 각각 다른 물리화학적 특성을 가지므로 원료 특성에 맞는 에너지 전환 기술이 적용되어야만 에너지 생산 효율을 높일 수 있다. 대표적인 바이오매스의 종류와 각 원료별 적용되는 바이오에너지 생산 기술을 [그림 1]에 나타냈다. 그림에 나타난 바와 같이 동일한 원료에 대해서도 각각 다른 전환 기술을 적용하면 다른 형태의 에너지를 생산하게 된다. 특히 바이오에너지 기술에서는 다른 신재생에너지원이 생산하지 못하는 수송용 연료를 생산할 수 있어 다른 재생에너지원과 보완 관계를 갖는다.

바이오에너지는 앞에 언급한 장점뿐만 아니라 원료인 바이오매스 자원 부존양도 매우 커서 전 세계 재생에너지 보급 중 비중이 약 80%로 절대적인 위치를 차지하고 있으며 2050년경에는 전 세계 총 에너지 소비량의 15%를 차지할 것으로 전망되었다<sup>(1,2)</sup>. 따라서 이를 활용한 바이오에너지기술 개발에 대한 연구 및 보급 활성화에 대한 지원이 국내외에서 활발하게 진행되고 있다. 본 논문에서는 이러한 바이오에너지기술 개발에 대

한 국내의 현황과 전망을 기술하고자 한다.

## 2. 본론

### 가. 상용화된 바이오에너지기술 현황

#### • 유기성 폐기물의 혐기소화

최근 일본에서 발표한 국가 바이오에너지기술개발 전략에 따르면 바이오에너지 생산에 우선적으로 활용해야 할 원료로 유기성 폐기물을 꼽았다<sup>(4)</sup>. 이와 같이 유기성 폐기물을 바이오에너지 생산 기술 적용 첫 번째 대상으로 선택한 이유는 첫째 폐기물이므로 수거 시스템이 잘 확립되어 있어 바이오에너지 기술 상용화에 가장 큰 장애 요인인 원료의 수집을 위한 별도의 인프라 구축이 필요치 않고 원료 조달 비용이 매우 낮다는 점이다. 두 번째로 폐기물이므로 적절하게 처리하지 않을 경우 환경오염 문제를 유발한다. 이러한 유기성 폐기물에는 농촌과 도시에서 배출되는 축산 분뇨, 음식 쓰레기, 하수슬러지 등이 대부분을 차지하며 이들은 수분 함량이 매우 높아 처리기술의 선택에 제한이 된다. 과거에는 이러한 유기성 폐기물을 매립에 의해 처리하였으나 매립 부지의 고갈 및 매립에 따른 환경오염

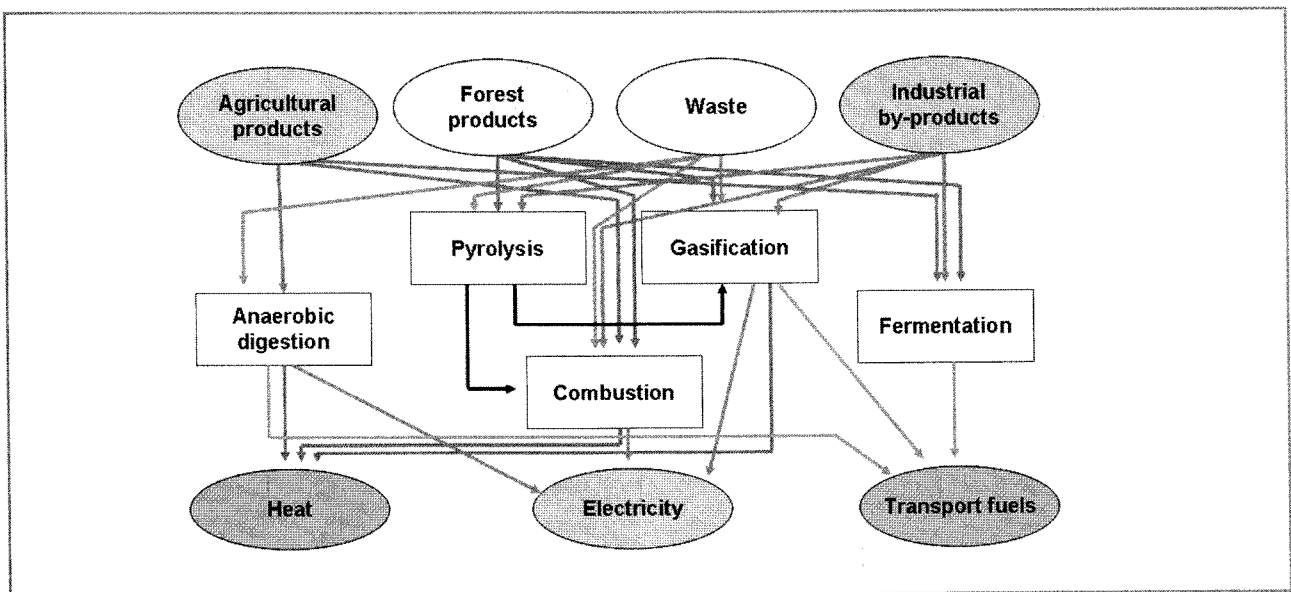


그림 1. 바이오에너지 기술의 개념도.<sup>(3)</sup>

문제 등으로 매립에 의한 처리가 점차 줄어들고 있다. 따라서 이에 대한 기술적 대안으로 최근에는 생물반응기에서 각종 유기성 폐기물을 혐기소화하는 기술이 개발되어 이용되고 있다. 과거에는 특정 종의 유기성 폐기물만을 각각 처리하는 방식으로 기술 개발이 이루어졌으나 최근에는 서로 다른 유기성 폐기물을 한꺼번에 통합소화하는 기술 개발이 주를 이루고 있다.

유기성 폐기물의 처리에 의해 생산한 바이오가스는 메탄 함량이 60~70%로 과거에는 소각하여 처리하였으나 고유가 시대가 도래하면서 바이오가스를 유용 에너지원으로 활용하려는 기술개발이 이루어지고 있다. 초기에는 바이오가스를 보일러 연료로 사용하여 난방 열원으로 이용하였으나 최근에는 보다 부가가치가 높은 전기 또는 자동차 연료로 이용하기 위한 기술 개발이 진행되고 있다.

국내에서도 수분 함량이 매우 높아 처리가 곤란하였던 음식 쓰레기를 혐기소화 하여 메탄을 생산하여 에너지로 활용하는 공정이 개발되었다 (5). 동 기술의 특징은 국내 음식 쓰레기는 수분 함량이 높아 해외에서 개발된 단일 상 반응기 시스템의 적용 시 급속한 가수분해 반응으로 생성된 유기산 때문에 pH가 낮아져 메탄 생성 반응이 저해 받아 효율적인 혐기소화가 이루어지지 않는다는 점을 고려하여 반응기를 산 생성단계와 메탄 생성단계로 분리한 2단계 반응기 시스템을 개발하여 성공적으로 적용하였다. 파주시에 설치된 동 시스템은 시 권역에서 수거된 음식 쓰레기뿐만 아니라 주변 농가에서 배출된 축산 분뇨를 함께 통합소화 하는 방식으로 운전되고 있다. 혐기소화에 의해 생산된 메탄은 과거에는 난방 열원으로 사용되었지만 최근 발전기를 설치하여 전기를 생산하고 공정의 운전에도 이용하고 있다. 동 기술에 의해 유기성 폐기물을 에너지로 이용 시 잔류 폐기물은 약 13%로 감량효과가 매우 높아 폐기물의 처리에 어려움을 겪고 있는 우리나라에서 특히 활용성이 높을 것으로 판단된다.

### • 섬유소계 바이오매스의 열화학적 이용 기술

셀룰로오스계 바이오매스로 대표되는 볏짚, 간벌재 등의 농업 산 부산물은 다른 바이오매스원에 비해 가용 자원양이 매우 커 중요한 바이오매스 자원으로 분류할 수 있다. 이러한 셀룰로오스계 바이오매스는 셀룰로스, 헤미셀룰로스, 리그닌 등으로 구성

되며 미생물에 의해 에너지로 전환되기 어려운 구조를 갖고 있다. 따라서 대량 생산, 저부가의 특성을 갖는 에너지 생산 공정으로는 반응 속도가 높은 열화학적 공정이 단기 상용화 기술로 검토되고 있다.

바이오매스의 열화학적 전환 기술은 크게 연소, 가스화, 열분해(Pyrolysis) 등으로 나뉘며 각 기술은 반응에 공급되는 산소 양에 따라 달라진다. 즉 산소를 충분히 공급하는 연소공정에서는 열 또는 전기 에너지를 생산하는데 비해 산소가 불충분하게 공급되는 가스화나 열분해에서는 가스 또는 액상연료가 생산 가능하다.

바이오매스 연소기술의 경우 입산 자원이 풍부한 북극의 여러 국가들(예: 핀란드, 스웨덴 등)에서는 조림에 의해 생산된 목재를 칩(chip) 또는 펠렛으로 가공하여 지역난방 등 대규모 열에너지원으로 사용하고 있다. 특히 스웨덴에서는 열에너지 생산 목적으로 바이오매스 연료를 사용하는 경우 화석연료 사용 시 부과되는 탄소세를 면제하여 바이오매스 연료의 가격 경쟁성 확보를 돕고 있다.

또한 미국, 독일 등 여러 선진국에서는 미활용 입산 폐기물 뿐만 아니라 도시에서 배출되는 폐 목재 등을 펠렛화하여 석탄 화력 발전소에서 석탄과 함께 사용하는 co-firing 기술도 개발하여 적용하고 있다 (6). Co-firing 기술을 적용할 경우 발전소에서 석탄의 사용량을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 공해 물질 및 온난화의 저감 효과도 기대할 수 있어 일석이조의 효과가 가능하다.

목질계 바이오매스는 화석계 연료에 비해 에너지 밀도가 낮을 뿐만 아니라 고품물이어서 수송에 어려움이 있다. 따라서 바이오매스를 기체나 액상연료로 전환한다면 보다 사용이 편리하다. 그러므로 목질계 바이오매스를 소량의 공기만 주입하고 열분해하여 기체나 액상연료를 생산하여 활용하는 기술이 개발되었거나 상용화 준비 단계에 있다. 가스화 공정의 경우 독일, 핀란드 등에서 20~100MW의 규모의 상용화 공정이 가동 중이며 산림 부산물뿐만 아니라 도시에서 배출되는 폐목재 등도 원료로 사용 가능하다. 현재 가스화 반응기의 효율을 높이고 보다 다양한 성상의 원료를 가스화할 수 있는 유동층 가스화 장치의 개발과 가스화 과정에서 생성되는 염소, 타르 등의 효율적인 제거를 위한 가스 정제 기술이 개발 중이다 (7).

목질계 바이오매스를 급속하게 열분해하여 액상연료를 생산하는 방식인 fast pyrolysis는 바이오오일 수율을 높이고 char의 생성을 줄이기 위한 목적으로 개발되었으며 열분해 반응이 수초 내에 완료되는 특징을 갖는다. Fast pyrolysis의 특징을 효과적으로 반영할 수 있는 반응기의 개발을 위한 연구가 진행되고 있으며 다양한 반응기중 유동층 반응기가 가장 널리 연구되고 있다. 현재 캐나다의 Dynamotive 사에서는 상용화 공정의 직전 단계인 파일롯 공정을 운전 중이며 1-2년 내에 상용화 기술개발을 완료할 예정이다. Pyrolysis에 의해 생산한 바이오오일은 증류 성상을 가지며 보일러 연료로 사용 가능하다.

#### • 수송용 바이오연료 관련 기술

다른 신재생에너지원이 갖지 못하는 바이오에너지만의 특성이 차량에 사용 가능한 바이오 대체연료를 생산할 수 있다는 점이다. 이러한 수송용 바이오연료의 도입 필요성은 EU의 분석에서 잘 제시되었다. EU의 분석에 따르면 1990년부터 2010년까지 EU역내 이산화탄소 배출량 증가분의 90%가 수송 부문에서 발생할 것으로 분석되었다 (8). 따라서 교토협약에서 규정한 이산화탄소 감축 목표 달성을 위해서는 수송 부문에서 바이오연료의 보급 확대가 필수적이라는 점을 강조하였다. 이산화탄소 저감에 소극적인 미국에서도 고유가 대응 및 해외 석유에 대한 의존도를 줄이기 위해 자국 내 부존 바이오매스를 원료로 한 수송용 바이오연료 생산 기술개발에 적극적으로 지원하고 있다. 이러한 지원의 결과 전 세계적으로 수송용 바이오연료 보급은 크게 증가하고 있다 (9).

가솔린의 대체연료로 사용되는 바이오에탄올은 재생성이 있는 바이오매스를 원료로 생산 가능할 뿐만 아니라 환경오염 물질의 배출도 적어 미국, 브라질 및 EU의 여러 국가들에서 보급량이 증가하고 있다. 현재 브라질, 미국 등에서는 자국의 풍부한 바이오매스인 사탕수수 또는 옥수수를 원료로 바이오에탄올을 생산하는 기술을 개발하였다.

사탕수수, 사탕무 등의 당질계 바이오매스는 효모에 의한 1단계 발효과정을 거쳐 바이오에탄올로 전환되며, 만들어진 발효 알코올은 정제과정을 거쳐 차량연료로 사용 가능한 무수에탄올(순도 99.27% 이상)로 된다. 옥수수, 고구마 등과 같은 전분질계 바이오매스로부터 바이오에탄올 생산은 녹말을 효모가

발효할 수 있는 당으로 전환하기 위한 증자 단계가 추가되며, 이후 과정은 당질계에서 에탄올 생산 방법과 같다. 현재 상용화된 바이오에탄올 생산 기술은 식량으로 사용 가능한 당질계 또는 전분질계 바이오매스를 원료로 사용하므로 앞으로 식량 수요가 늘어나거나 바이오에탄올 수요 증가 시 원료 수급에 문제가 발생할 수 있다는 우려가 증가하고 있다.

이러한 문제를 극복하기 위해 보다 값싸고 원료 수급에 문제가 적은 섬유소계 바이오매스를 원료로 사용하는 기술을 개발하고 있다. 하지만 섬유소계 바이오매스는 앞에 언급한 당질계, 전분질계 바이오매스에 비해 매우 견고한 구조를 가지고 있어 이를 분해하여 에탄올로 전환시키기 위해서는 여러 단계의 공정을 거쳐야 한다. 섬유소계 바이오매스로부터 에탄올 생산 과정을 간략히 설명하면 바이오에탄올 생산원료로 쓰이는 당의 고분자인 셀룰로스와 헤미셀룰로스를 먼저 분리하고 효소에 의해 당으로 분해한 다음 앞에 기술한대로 효모에 의해 에탄올을 만들게 된다. 섬유소계 바이오매스로부터 에탄올 생산 공정의 경제성을 높이기 위해서는 수율 향상이 가장 중요하지만 현재 섬유소계 바이오매스로부터 효율적으로 당을 분리하는 데 필요한 단위 요소기술인 전처리와 효소 당화기술이 개발되지 못해 실용화에 어려움을 겪고 있다. 이러한 기술은 현재 미국, 스웨덴 등에서 파일롯 공정의 연구 단계이며 실용화에는 약 5-10년이 더 걸릴 것으로 예상된다.

요즘 경우 대체 친 환경연료로 주목받고 있는 바이오디젤도 바이오매스로부터 생산 가능하다. 이러한 바이오디젤은 바이오매스의 한 종류인 식물성 기름으로부터 만들어진다. 식물성 기름은 차량 연료로 사용하기에 충분한 열량을 가지고 있지만 고분자 물질이어서 점도가 너무 높아 현대의 디젤 엔진에 직접 적용이 어렵다는 문제점이 있다. 따라서 화학반응에 의해 식물성 기름을 분해하여 저분자화함으로써 점도를 디젤유와 비슷한 점도 수준으로 낮출 수 있다. 즉 [그림 2]에 나타낸 바와 같이 식물성 기름에 촉매를 넣고 알코올과 반응시키면 알킬에스터와 글리세린으로 전환된다. 반응에 의해 생산된 알킬에스터를 바이오디젤이라고 한다. 모든 종류의 알코올이 사용 가능하지만 가장 가격이 저렴한 메탄올을 주로 사용하고 따라서 생산된 알킬에스터도 메틸에스터(바이오디젤)라고 한다. 촉매도 마찬가지로 산 또는 염기 촉매가 사용 가능하지만 반응 활성이

# 해설

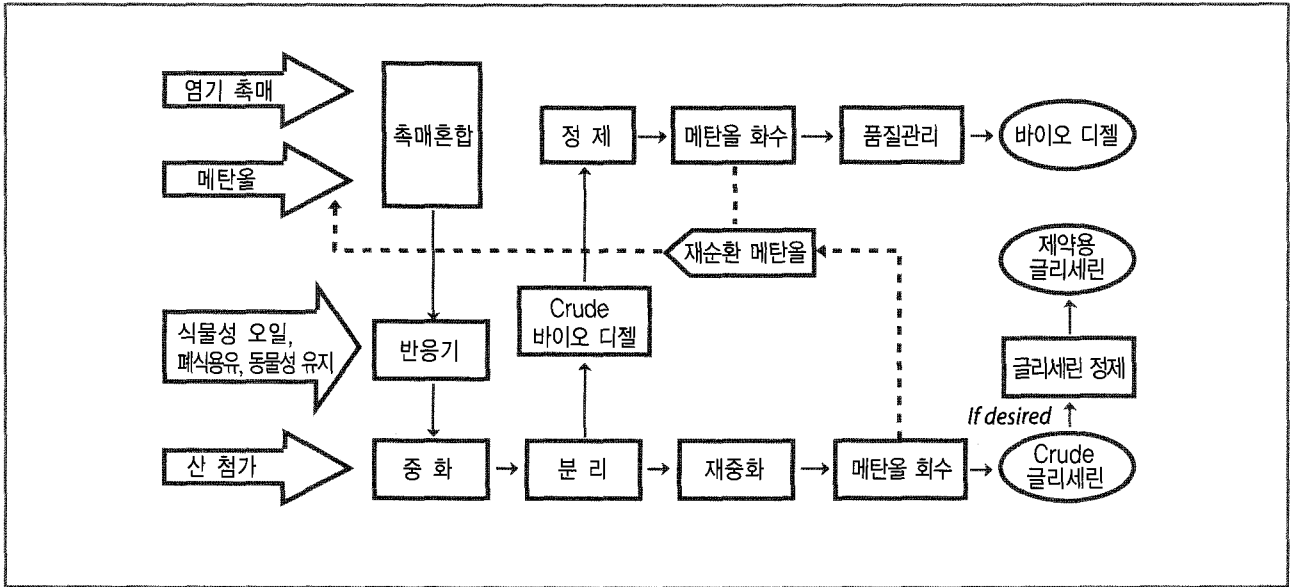


그림 2. 바이오디젤 생산 반응 개략도

우수한 염기 촉매를 주로 사용하고 있다. 에탄올의 경우와 마찬가지로 현재 바이오디젤 생산에 원료로 사용되는 기름은 식용유로도 사용 가능하다. 따라서 바이오디젤의 보급이 전 세계적으로 활성화될 경우 원료의 가격 상승과 수급 불안 문제가 있다. 실제 바이오디젤의 많은 장점 때문에 보급이 크게 늘고 있다 (10).

식물성 원료유는 추출한 식물의 종에 따라 각각 다른 조성을 가지며 그 결과 생산된 바이오디젤도 다른 물성을 갖는다. 이러한 물성의 차이는 바이오디젤이 차량 연료로 사용할 때 중요한 의미를 갖는다. 즉 원료에 따른 바이오디젤의 연료로서 특성 차이는 두 가지 인자에서 나타난다. 첫 번째 인자는 연료의 저온 유동성이다. 포화 지방산의 함량이 높은 팜유를 원료로 제조한 바이오디젤은 저온 유동점(Cold Flow Plug Point, CFPP)이 10°C 내외로 우리나라와 같이 겨울철이 있는 경우 사용이 어렵다. 따라서 말레이시아와 같은 열대 지방에서 주로 사용한다. 유럽에서 주로 사용하는 유채유의 경우 oleic, linoleic, linolenic acid 등의 불포화 지방산 함량이 높아 저온 유동성은 우수하지만 불포화 지방산이 많은 관계로 쉽게 산화하는 특성이 있다. 이러한 바이오디젤의 낮은 산화 안정성 때

문에 바이오디젤은 쉽게 산화되어 연료 분사 장치에 침전물로 부착되어 고장의 원인이 된다. 특히 이중 결합이 2개 이상인 linoleic, linolenic acid는 산화 안정성(oxidation stability)이 더욱 낮아 이들의 함량이 낮고 oleic acid 함량이 높은 유채종을 개발하기 위한 연구가 진행되고 있다. 독일의 경우 유채의 품종 개량을 통해 oleic acid 함량을 70%까지 높인 것으로 보고되었다. 따라서 많은 식물성 기름 중 유채 기름이 바이오디젤 원료로 가장 널리 사용되고 있다.

고유가와 교토 협약 발효 등에 따른 국제사회의 이산화탄소 배출규제 강화로 현재의 수송 인프라에 적용 가능한 바이오연료에 대한 수요는 2020년까지 매년 20% 이상 증가할 것으로 예측되었다 (9).

## 나. 미래 바이오에너지 기술

### • 목질계 바이오매스로부터 바이오에탄올 생산

앞에서 기술한 바와 같이 목질계 바이오매스는 가용 자원량이 가장 풍부하지만 미생물에 의한 전환이 어려운 구조적인 특성 때문에 현재 열화학적 전환에 의해 열 또는 전기 생산 목적으로 활용되고 있다. 하지만 목질계 바이오매스로부터 바이오

에탄올을 생산하기 위한 기술개발도 꾸준히 진행되어 왔으며 최근 고유가 시대가 도래하면서 바이오에탄올 생산 공정의 실용화를 위한 기술개발이 가속화되고 있다. 목질계 바이오매스로부터 바이오에탄올을 생산하는 공정을 실용화하는데 장애가 되는 부분은 낮은 수율과 높은 당화비용이다. 바이오에탄올 수율을 높이기 위해 목질계 바이오매스의 당화 효율을 높이기 위한 기술개발이 이루어지고 있다. 이러한 기술에는 리그닌의 효율적인 분리를 위한 전처리기술, 셀룰로스와 헤미셀룰로스를 효율적으로 당화할 수 있는 효소 시스템의 개발 그리고 당화와 발효를 동일 반응기에서 진행하는 동시당화발효 기술 등에 대해 연구가 진행되고 있다. 이러한 기술 개발을 통해 궁극적으로는 목질계 바이오매스로부터 생산되는 바이오에탄올의 단가는 \$0.20/L까지 떨어져 휘발유에 대해 가격 경쟁성을 가질 수 있을 것으로 전망되었다 (11).

#### • 바이오매스로부터 수소 생산

미래에 수소 연료전지 자동차가 상용화될 경우 차량용 수소의 양산기술 확보는 대단히 중요하다. 이 경우 바이오매스는 수소 공급원으로서 중요한 역할을 하게 될 것으로 예상된다. 이러한 바이오매스로부터 수소를 생산하는 기술로는 생물학적 전환기술과 열화학적 전환기술이 있다.

생물학적 전환기술은 유기성 폐자원과 같은 바이오매스로부터 미생물 발효과정을 통해 수소가스로 전환시키는 기술이다. 이러한 생물학적 전환기술은 우리나라에 풍부한 농임산 부산물이나 공장에서 배출되는 유기성 폐기물을 사용하여 미래의 에너지원으로 각광받고 있는 수소를 생산함으로써 환경처리 문제 해결과 에너지생산이라는 두 가지 장점을 가지고 있다. 현재 이 기술은 크게 두 가지 기술로 나눌 수 있다. 하나는 광합성 미생물에 의해 빛에너지를 이용하여 물을 분해하여 수소를 얻는 방법이고, 다른 하나는 혐기성 미생물을 이용하여 유기성 폐자원과 같은 바이오매스를 이용하여 혐기발효를 통해 수소를 생산하는 방법이다. 이와 같은 생물학적변환기술은 연료전지의 발달과 함께 수송용 연료로서 수소를 직접 생산하여 저장할 수 있다는 장점 때문에 유럽, 미국, 일본을 비롯해 세계적으로 관심의 대상이 되고 있다. 주요 연구과제는 단위 원료물질 당의 수소 생산수율을 높이려는 연구와, 단위 시간당 단위 반

응기 부피당의 수소 생산성을 높이려는 연구가 수행되고 있다. 최근에는 유전자 조작과 대사공학 등의 생물공학 기술을 접목시켜 수소생산 수율을 높이려는 연구가 진행되고 있으며, 미생물로부터 수소생산에 관여하는 효소만을 추출한 후 이를 이용하여 수소를 생산하는 연구도 진행되고 있다. 이 밖에 혐기발효 시에는 수소뿐만 아니라 이산화탄소가 생성되기 때문에, 이산화탄소와 물로부터 수소를 생산하는 공정의 광합성 미생물 공정을 함께 이용하는 하이브리드 공정에 대한 연구도 수행되고 있다.

열화학적 전환기술은 바이오매스를 가스화하여 생산된 합성가스로부터 수소 수율을 높이기 위해 수증기를 이용한 개질 반응 또는 부분 산화 기술을 적용하기도 한다. 이러한 기술은 아직 R&D 초기 단계에 있다.

### 3. 결론

선진국 사례에서 검토한 바와 같이 바이오매스 에너지는 화석 에너지에 비해 높은 가격임에도 불구하고 지속 성장에 필수적인 요소로 인식되어 보급이 점차 확대되고 있다. 또한 바이오매스 에너지의 보급 활성화는 농림업의 부양 효과도 있어 균형 발전을 이루는데도 기여할 수 있다. 국내에서도 바이오매스 에너지에 대한 관심이 높아지고 있으나 아직 초창기이어서 보급이 본격적으로 증가하지는 못하고 있다. 국내 바이오매스 에너지 보급 활성화를 위해서는 다음과 같은 조치가 필요할 것으로 판단된다.

- 일본의 사례에서 보듯이 바이오매스에너지는 더 이상 미국 또는 EU와 같은 바이오매스 자원 부국에서만 적용 가능한 기술이 아니다. 그러므로 일본처럼 자국 실정에 맞는 바이오매스 자원을 활용하는 에너지 기술 개발을 위한 마스터플랜의 마련이 필요하다.
- 축산 분뇨와 같은 유기성 폐기물의 처리에 의한 에너지 생산은 환경 보호 측면 뿐만 아니라 에너지 이용이라는 두 가지 긍정적인 효과가 있어 우선적으로 기술 개발 및 보급이 이루어져야 하고 농임산 부산물은 국내에서 가장

# 해설

- 큰 가용 바이오매스 자원이라는 점을 고려할 때 실제 적용 가능한 바이오에너지 생산 기술이 개발되어야 한다.
- 전 세계적으로 바이오에너지의 보급이 점차 활성화됨에 따라 원료인 바이오매스의 안정적인 공급이 중요 이슈가 될 전망이다. 특히 수송용 바이오연료의 경우 사용되는 원료가 곡물이므로 바이오연료 생산 확대에 따른 원료 공급 부족이 공급 확대에 제한 요소가 될 전망이다. 따라서 식용작물이 아닌 바이오매스 자원으로부터 바이오연료를 생산할 수 있는 양산 공정의 개발이 중요하다.
  - 바이오 수소의 경우 연료전지의 상용화와 함께 관심이 고조되고 있다. 바이오수소의 최대 이슈는 경제성이다. 현재 \$10~12/GJ의 바이오수소 제조비용이 천연가스를 이용한 수소 제조비용인 \$6~8/GJ로 낮아진다면 상용화가 가능 할 것이다. 이를 위해 생명공학기술의 도입을 통해 수소 생산 수율을 더욱 높이는 연구가 중요하다.

---

## 참고문헌

---

1. IEA, Renewables Information, IEA Publications Service, 2005.
2. G. Fischer and L. Schrattenholzer, "Global bioenergy potentials through 2050", Biomass and Bioenergy, Vol. 20, pp. 151-159, 2001.
3. IEA, Renewable Energy: R&D Priorities, IEA Publications Service, 2006.
4. Y. Matsumura, 2004, "Biomass Nippon Strategy and technologies for biomass utilization", 15th Annual Conference of JSWME, Takamatsu, Japan, Nov. 17-18
5. J.P. Lee, J.S. Lee, and S.C. Park, "Two-phase methanization of food wastes in pilot scale", Applied Biochemistry and Biotechnology, Vol. 77-79, pp.585-593, 1999.
6. L. Baxter, 2000, "Biomass-Coal firing in the US", Presented at IEA Task 19 Workshop, Sevilla, Spain, June 5-9.
7. C. Greil and H. Vierrath, 2000, "Fuel Gas from Biomass", Proceedings of 1st World Conference on Biomass for Energy and Industry", pp.2128-2130, Sevilla, Spain, June 5-9.
8. EC, 2000, "Towards a European Strategy for the Security of Energy Supply", Green Paper, [http://europa.eu.int/comm/energy\\_transport/en/lp\\_liv\\_en1.html](http://europa.eu.int/comm/energy_transport/en/lp_liv_en1.html), November 29.
9. IEA, Biofuels for Transport, IEA Publications Service, 2004.
10. W. Korbitz, 2002, "New trends in developing biodiesel world-wide", presented at Power Crops for the Americas, Miami, USA, May 6-7.
11. D. Reicher, 1998, "A Vision for Bioenergy: Growing an Integrated Industry", Presented at DOE Bioenergy Executive Forum, Nashville, Tennessee, November 18