

자동차 연료용 에탄올 생산 현황과 전망 2

박정진

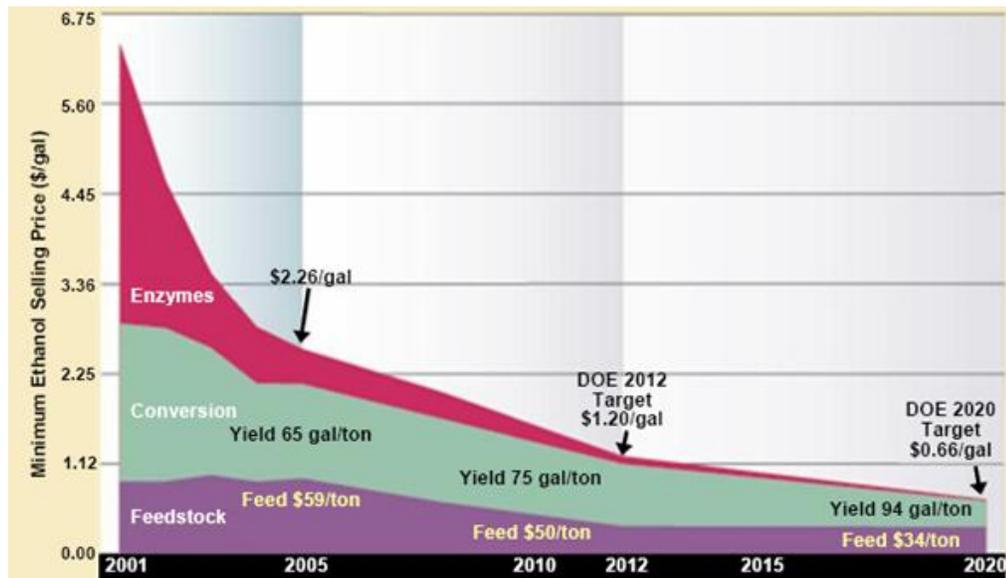
GLBRC, Michigan State University

To whom correspondence should be addressed e-mail: jjpark@msu.edu

1. 바이오 에탄올의 연구 개발 동향

미국이나 멕시코 등지에서 직접 에탄올이 자동차 원료로 사용되면서부터, 비용 절감이라는 부가적인 조건을 충족시키기 위한 노력이 이루어지고 있다. 일반적으로 바이오 에탄올의 판매 비용은 다음과 같이 예측되고 있다.

<그림 1> Costs of Ethanol from Biomass

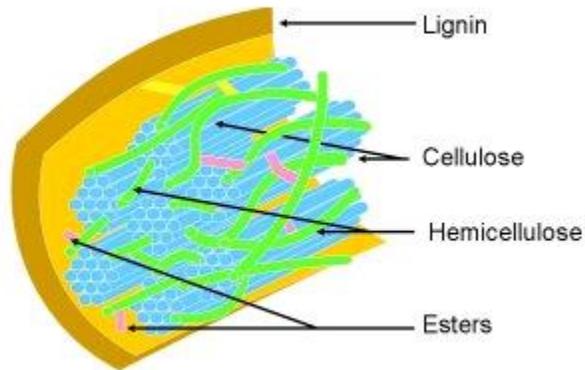


이러한 단가를 맞추기 위해서는 지금과 같은 starch ethanol 이 아니라 cellulosic ethanol 을 개발해야 한다. Cellulosic ethanol 생산의 중심에는 lignocellulose 가 있으며 이는 cellulose, hemicellulose 그리고 lignin 으로 구성된 복합체를 뜻한다.

<그림 2>에서 보는 것과 같이 lignocellulose 는 cellulose 를 가운데 두고 hemicellulose 가 수소결합을 통해 감싸는 모습으로 붙어 있으며, lignin 은 hemicellulose 와 공유결합을 통해 연결된 형태를 가진다.

현재 lignocellulose 를 에탄올 생산의 원료로 사용하기 위해서는 <그림 3>와 같은 공정을 거치게 된다. 상업화를 위해서는 효율적인 전처리 공정, 보다 값싼 가수분해 효소, 그리고 pentose sugar 의 발효공정의 최적화가 필요한 상태이다.

<그림 2> Schematic diagram of lignocelluloses structure



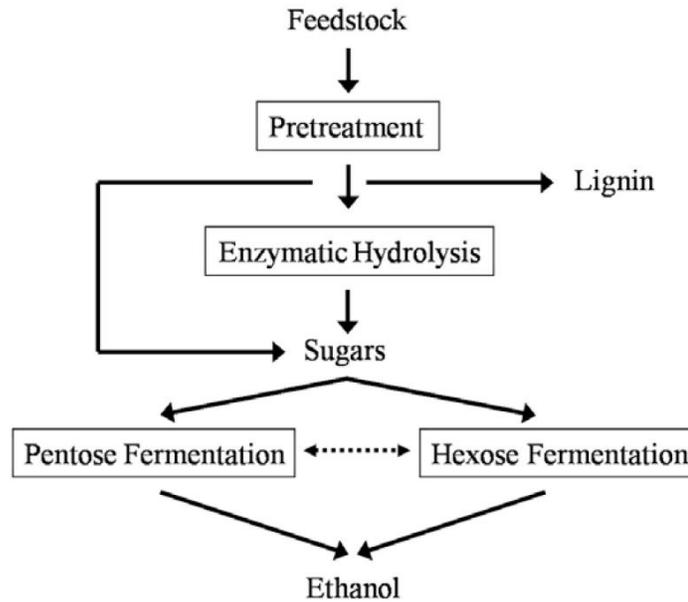
이중 전처리 공정을 중점적으로 살펴보자면, 전처리 공정이란 cellulose 의 crystallinity 를 감소시키거나 biomass 의 공극율을 증가시켜서 cellulose 분해 효소의 cellulose 에 대한 접근성을 좋게 한다. 이러한 전처리 공정은 20%에 불과한 cellulose 의 당화수율을 이론상 90%에 이르게 한다. 전처리 공정은 물리적, 물리-화학적, 화학적 그리고 생물학적인 공정으로 나눌 수 있다. 각각의 공정에 대해 살펴보면 다음과 같다.

- 물리적 전처리법

물리적인 전처리법은 grinding, milling 또는 chipping 을 통해 biomass 의 cellulose fiber 의 구조 변화를 유도하는 방법이다. 이러한 물리적 전처리는 lignocellulose 의 크기를 축소시킴으로써 가수분해 공정에서 열전달의 효율을 향상시키게 된다. Chipping 후에는

대체로 10~30mm 정도의 크기가 되며, milling 이나 grinding 후에는 0.2 에서 2mm 정도를 유지하는 것이 보통이다.

<그림 3> General process for conversion of lignocelluloses into ethanol



- 물리-화학적 전처리법

현재 많이 사용되고 있는 물리-화학적 전처리법으로는 steam explosion, ammonia fiber explosion (AFEX), 그리고 CO₂ explosion 이 있다. Steam explosion 은 고온의 증기가 들어 있는 고압용기에서 lignocellulose 를 찢 다음 순식간에 용기의 밸브를 열어, lignocellulose 의 구조 팽창을 유도 한다. 이를 통해 cellulase 의 접근성을 용이하게 하는 것이다. 일반적인 조건은 160~260℃의 온도와 0.69~4.83MPa 의 압력이 필요하다. 이러한 방법은 주로 원료가 목본일 경우 사용하게 된다. 하지만 공정의 부산물이 후속 공정의 효율을 방해한다는 결과도 보고되어 있다.

AFEX 와 CO₂ explosion 공정은 앞서 말한 steam explosion 과 매우 유사하다. 일단 biomass 를 고온 고압의 암모니아나 CO₂ 에 접촉시킨 다음 steam explosion 과 같이

압력을 낮추는 것이다. AFEX 의 경우 원가 절감과 환경문제 때문에 암모니아의 회수 공정이 추가로 필요하며, CO₂ explosion 의 경우에는 AFEX 와 steam explosion 과 비교해 볼 때 효율이 떨어지는 것으로 나타났다.

- 화학적 전처리법

화학적 전처리법으로는 오존, 산, 염기, 유기 용매 또는 과산화 수소를 이용하는 공정을 뜻한다. 오존처리법(Ozonolysis)은 상온에서 이루어지며, 유해한 부산물 없이 리그닌 제거에 효과적이다. 하지만 공정 단가가 비싸다는 단점이 있다. 황산을 처리하는 방법은 hemicelluloses 제거에는 효과적이었으나 lignin 제거에는 그 효율이 떨어지는 것으로 나타났다. NaOH 를 이용한 공정은 lignin 과 hemicellulose 의 결합을 약화시키고 biomass 의 공극율을 증가시킨다고 보고되어 있다.

- 생물학적 전처리법

생물학적 전처리법은 미생물을 이용하여 lignin 이나 hemicellulose 를 분해하는 것을 뜻한다. 이 방법은 주로 white-rot 곰팡이를 이용하는 것이 일반적이며, 이는 화학적 또는 물리 화학적인 공정에 비해 에너지 소모가 적다는 장점이 있다. 하지만, 상업적으로 이용하기에는 시간이 많이 걸린다는 단점이 있다.

2. 국내 바이오 에탄올의 상업화 가능성

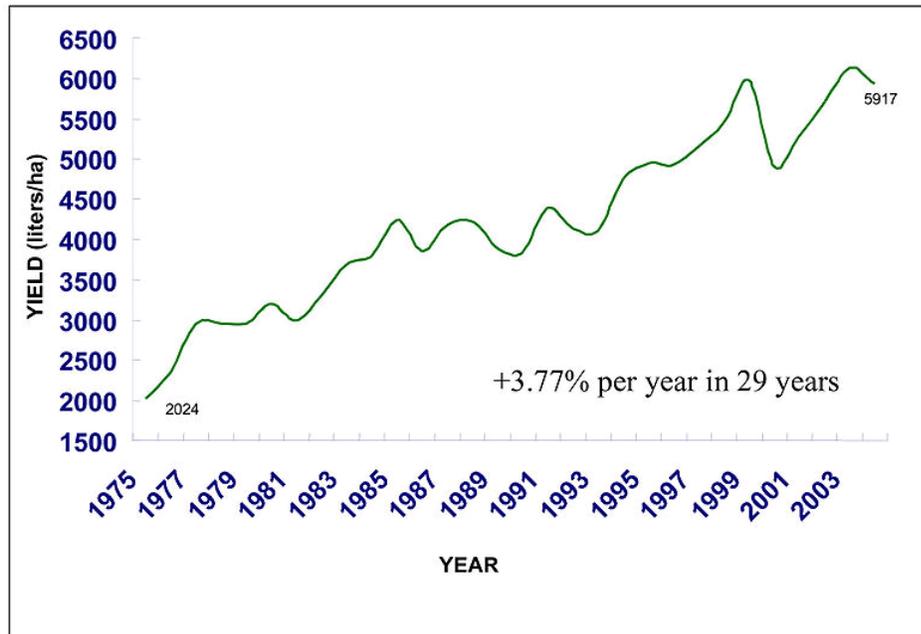
현재, 미국과 브라질, 유럽의 대다수 국가들과 함께 중국을 비롯한 동남아 국가까지 휘발유에 바이오 에탄올 10%를 섞는 E10 의 판매를 허가한 상태이다.

하지만, 국내의 경우 아직 상용화까지는 넘어야 할 산이 많아 아직까지도 상용화되지 못하고 있다.

2006 년 8 월부터 2008 년 7 월까지 2 년간에 걸쳐 한국석유품질관리원에서는 E3 와 E5 에 대한 실증평가 연구를 했었으며, 그 결과 혼합연료의 유통상 특별한 문제는 없었던 것으로 나타났다. 즉, 일반적으로 혼합연료의 단점으로 지적되는 금속 부식과 상분리 현상은 없었던 것이다. 그도 그럴 것이, 미국을 비롯한 세계 곳곳에서 국내의 실험치보다 높은 10% 에탄올을 포함한 E10 을 사용해 오고 있으나, 이 때문에 문제가 일어나진 않고 있다.

한편으로는 현재 바이오 에탄올의 원료가 되는 곡물가격이 유가보다 더 높아 경제성이 없다고도 하는데, 미국의 경우를 보면, 갤런 당 석유의 가격이 2 달러일 때, E85의 경우 1.8 달러 선을 유지하고 있었다. 즉 현재 휘발유에 부과되는 세금을 조금만 조정하면 바이오 에탄올은 충분히 경제성이 있다고 보여진다. 그리고 바이오 에탄올을 조금이라도 저렴하게 생산하고자 하는 노력이 세계 곳곳에서 이루어지고 있으므로 그 가격은 점차 하락할 것으로 예상된다. 하지만 매장량에 한계가 있는 휘발유의 경우, 시간이 지날수록 그 가격을 높아질 것이므로, 무엇이 더 경제적인지는 자명하다고 할 수 있다.

<그림 4> 브라질의 단위 면적당 에탄올 생산량

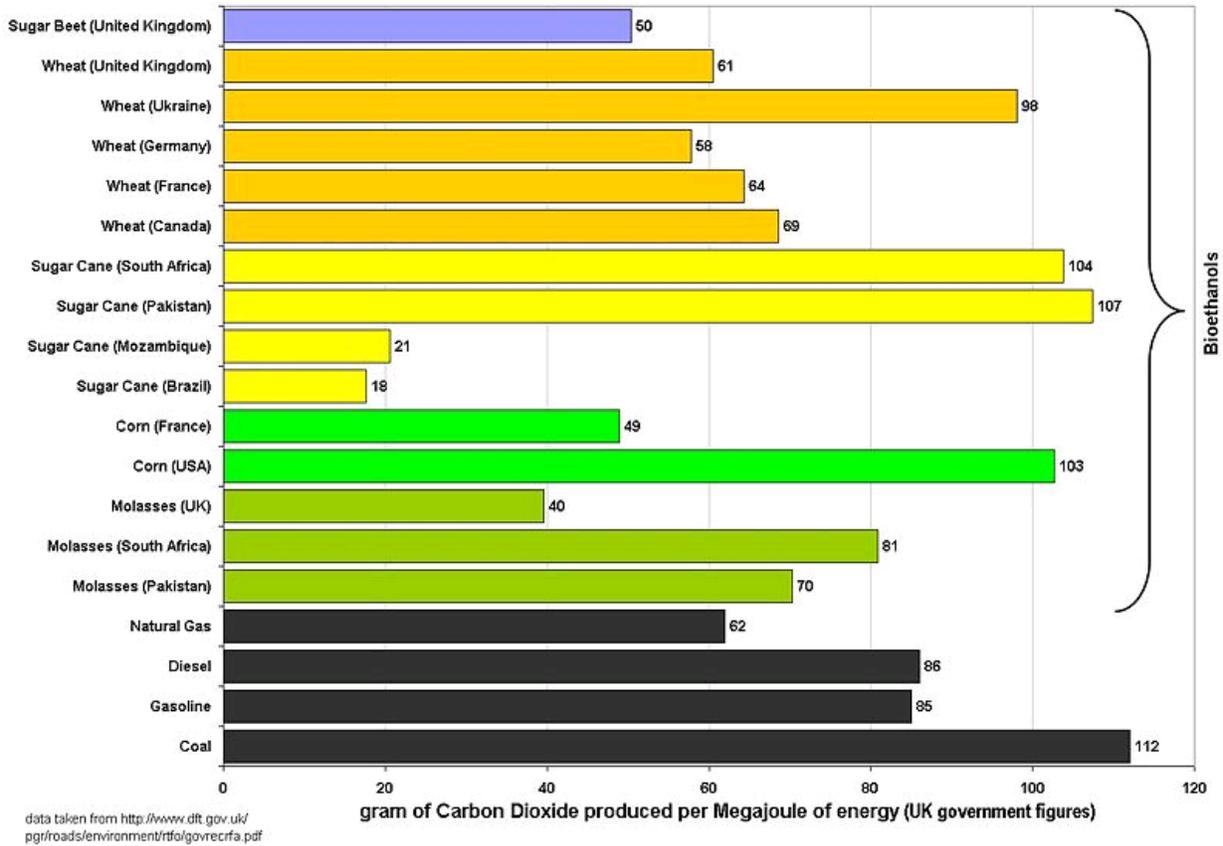


출처: J. Goldemberg, *Biotechnology for Biofuels* 1, 6 (2008).

2008년 12월 18일, 한국석유품질연구원에서는 바이오 에탄올의 상업화와 관련하여 공청회를 열었다. 이때 정유업계와 자동차 업계가 강력한 반대 입장을 보인 것으로 알려졌다. 그 이유로는 바이오 에탄올의 환경 개선 효과가 없으므로 조금 더 지켜보고 결정해야 할 것이라고 부정적인 의견을 내었다.

하지만, 영국에서 2008년 1월에 발표한 자료에 의하면 연소시 생산되는 단위 열량당 바이오 에탄올과 휘발유의 이산화탄소 배출량은 비슷하나, 바이오 에탄올의 경우 그 이산화탄소는 식물의 광합성을 통해 이산화탄소의 재흡수하는 비율이 높다.

<그림 5> Emission carbon intensity of bioethanol and fossil fuels



출처: <http://www.dft.gov.uk/pgr/roads/environment/rtfo/govrecrfa.pdf>

분명, 바이오 에탄올의 상업화를 위해 우리나라가 해결해야 할 과제는 많을 것이다. 하지만, 더 늦기 전에 관련 기술과 시설을 확보 하게 된다면 석유라는 한정된 자원에 대한 숙박에서 어느 정도 탈피함과 동시에, 기후변화 문제에 대한 노력의 일환으로 지지를 받을 것이다.

1. 고(高) 바이오매스 양 사탕수수를 원료로 한 사탕-에탄올 복합생산, 백운화, KISTI-모니터링분석, 2007
2. 미국 환경 보호국, www.epa.gov
3. 미국의 바이오에너지 개발현황과 시사점, 고유상, 2006, SERI 경제 포커스, 2006
4. 선진 사례를 통해 본 국내 바이오에탄올 상업화 가능성, 김경연, LG 주간경제, 2006
5. 영국 교통부, www.dft.gov.uk