



# 글로벌 바이오연료 시장과 정책현황 및 시사점

오정석 국제금융센터 원자재시장팀 팀장 (jsoh@kier.re.kr)

## 1. 서론

석유의 대체에너지로 오늘날 주목받고 있는 바이오연료는 오랜 연원을 가지고 있다. 1895년 독일의 루돌프 디젤이 개발한 바이오디젤은 디젤엔진의 연료로 사용되었고, 바이오에탄올은 1899년 포드사의 에탄올용 자동차 개발과 더불어 활용되었다. 1859년 시작된 근대석유산업의 역사와 비교하면 큰 차이가 없다고 하겠다. 그러나, 이후 휘발유와 경유 등 값싸고 성능 좋은 운송용 연료가 대량으로 보급되면서 바이오연료는 경쟁력을 상실했고 세간의 관심에서 멀어졌다.

오랜 기간 잊혀졌던 바이오연료 산업은 1973년 1차 오일쇼크를 계기로 회생의 전기를 마련하였다. 중동 산유국들의 원유금수(禁輸) 조치와 유가급등에 놀란 서방국가들이 대체에너지 개발에 나서면서 바이오연료가 유력한 대안으로 부상하였고, 2000년대 중반 고유가 시대의 개막과 환경문제의 본격적 대두는 바이오연료가 차세대 에너지원으로 뿌리 내리는데 결정적 역할을 하였다.

바이오연료는 지속가능하고 오염물질 배출이 적은 신재생에너지 중에서도 가장 중요한 에너지원으로 꼽힌다. 태양광, 수력, 풍력, 지열 등과 달리 운송연료로

사용이 가능하며, 지역발전과 농업분야의 고용창출·소득상승 등 연관 산업에 미치는 파급효과도 크기 때문이다. 생산비용이 높고 에너지 효율성이 낮다는 점이 걸림돌이기는 하지만 이는 부단한 기술개발에 의해서 극복될 것으로 보인다.

바이오연료 산업은 최근 많은 어려움에 직면해 있다. 2014년 하반기 이후 지속되고 있는 저유가와 비전통원유인 셰일오일의 등장, OPEC의 생산경쟁 등은 대체에너지 개발 필요성을 저하시켰고, 각국의 에너지안보에 대한 경각심도 낮아졌다. 기후변화에 소극적인 미국 트럼프 행정부의 출범은 바이오연료에 대한 투자 및 지원 축소로 이어지지 않을까 우려된다. 농산물을 에너지원으로 활용하는데 따른 식량부족 및 가격 불안정 문제 등도 아직 해결되지 않은 상황이다.

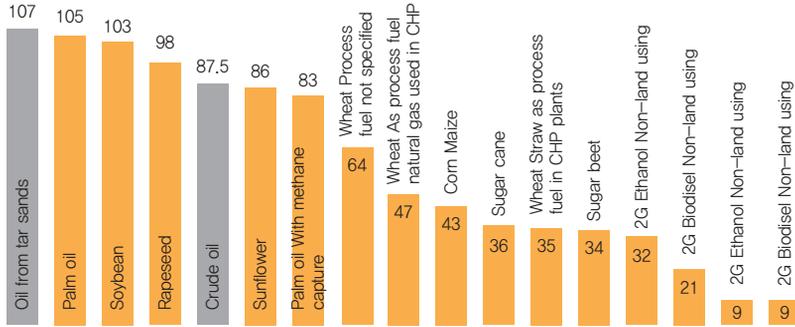
그럼에도 불구하고 바이오연료 산업은 향후 발전 가능성이 높은 것으로 평가된다. 가격 순환주기에 비추어 고유가 시대가 언젠가는 다시 도래할 것이고, 갈수록 악화되는 지구 온난화 문제로 기후변화에 대한 글로벌 차원에서의 대응도 강화될 수밖에 없기 때문이다. 원유를 전량 수입에 의존하는 우리나라의 경우 특히 매력적인 에너지원이 아닐 수 없다. 이에 본고는 세계 바이오연료 산업의 현황과 향후 전망을 살펴보고 우리의



[그림 1] 화석연료와 바이오연료 온실가스 배출 비교

Carbon footprint of biofuels

Including in-direct land-use change and compared to crude oil and tar sands, g of CO<sub>2</sub> per megajoule energy



자료: European Union Data Leaked to Euroactiv, EnergyWise 재인용

대응방안을 모색하는 것을 목적으로 한다. 본고의 구성은 다음과 같다. 2절에서 바이오연료의 종류 및 장단점, 글로벌 수급 현황을 살펴보고, 3절에서는 미국과 브라질, 유럽, 동남아 등 주요국들의 정책과 전략을 분석하고, 4절에서 우리나라에 대한 시사점을 제시하고자 한다.

2. 글로벌 바이오연료 산업 개관

가. 바이오연료의 정의

바이오연료란 바이오매스(Biomass)<sup>1)</sup>, 즉 자연에서 얻어지는 식물, 동물, 미생물 등 유기 생명체로부터 직

간접적으로 생산된 연료로, 원료인 바이오매스가 자연에서 지속적인 생산이 가능해 화석연료와 달리 고갈의 우려가 없다. 아울러 바이오연료는 이산화탄소 등 오염물질 배출량이 화석연료에 비해 상대적으로 적고, 배출된 이산화탄소는 이들의 원료인 식물들이 성장하면서 흡수하기 때문에 바이오연료의 이산화탄소 순배출량은 거의 없다고 봐도 무방하다. 바이오연료는 이산화탄소의 소비와 발생이 모두 단기간에 발생하기 때문에 생태학적으로 사이클이 균형을 이루는 탄소 중립적인 특징도 갖는다.

바이오매스는 옥수수, 사탕수수, 대두 등 곡물 중심의 1세대를 거쳐 폐목재, 식물 등 목질계의 2세대, 김과 미역 등 해초류의 3세대로 구분된다. 1세대 바이오매스의 경우 공정이 복잡하지 않고 생산비용도 저렴한

1) 동식물뿐만 아니라 농림업에서 발생하는 부산물과 폐기물, 음식물쓰레기, 생물체에 기반한 산업폐기물, 퇴비, 가축분뇨, 하수오니 등 다양. ETC는 바이오매스를 생물학적으로 분해 가능한 농·임업 폐기물, 제지산업의 부산물, 고행유기성폐기물 등으로 규정

편이나 무리한 경작과 삼림 훼손 등을 초래하여 궁극적으로 이산화탄소 발생을 증가시키는 부작용이 발생하며, 2세대는 생산과정이 복잡하고 효율성이 떨어진다는 것이 최대 단점이다. 3세대는 경작지가 필요 없고 성장속도가 빠르며 이산화탄소 흡수율이 높아 최근 많은 연구가 진행되고 있다.

바이오매스는 생물학적·열화학적 방법 등을 통해

고체, 액체, 기체 형태의 연료로 전환되어 사용된다. 생물학적 방법은 미생물을 이용한 발효과정을 통해 연료를 획득하는 방법으로 메탄발효, 에탄발효, 수소발효 등이 있다. 열화학적 방법에는 직접연소와 가스화, 탄화 등이 있는데 가스화는 고온상태에서 바이오매스를 열분해하여 이산화탄소 및 수소 등 가연성 가스를 만들어 내는 것이다.

〈표 1〉 에너지원으로 사용되는 바이오매스의 종류

분류	형태	용도	관련 바이오매스
직접연소	장작, chip, pellet, briquet	발전 및 열원용 연료	나무, 목재, 폐목재, 간벌재, 제재공장 등 잔재, 농산부산물, 음식물쓰레기, 초분류 등
가스화	메탄	발전 및 열원용 연료	가축배설물, 식품폐기물, 하수오니, 농산부산물과 잔사 등
액체화	바이오디젤	디젤엔진 연료	폐식용유, 유채기름, 유지식물과 나무, 식물유, 동물성 지방 등
	에탄올	자동차 연료	옥수수, 사탕수수, 사탕무, 건설발생목재, 감자, 고구마 등
	메탄올	발전 및 열원용 연료, 연료전지 연료	왕겨, 톱밥, 제재공장 잔재 등

자료: 강창용 외(2006), "바이오매스 이용의 사회경제적 유용성, 농촌경제연구원

## 나. 바이오연료의 종류 및 특징

바이오연료에는 가장 널리 알려진 바이오에탄올(이하 에탄올)과 바이오디젤 외에도 바이오수소, 바이오부탄올, BTL(Biomass-to-liquid), 바이오가스, 바이오프로판, 기타 고형연료 등이 있으며 각각의 특징은 아래와 같다.

### 1) 에탄올

에탄올은 기본적으로 글루코오스 등 당(糖) 화합물을

미생물로 발효시킴으로써 생산한다. 전분질계의 바이오매스가 주로 활용되며, 셀룰로오스를 함유한 볏짚이나 나무 등 목질계와 해조류로부터도 생산이 가능하다. 셀룰로오스는 포도당 등 당류의 중합체로 식물의 기본적인 구성성분이기 때문에 에탄올은 다른 바이오연료에 비해 폭넓은 원료자원을 가지고 있다고 하겠다.

에탄올은 이산화탄소 등 환경오염 물질 배출이 화석연료에 비해 적어 대표적인 친환경 에너지로 꼽히고 있으며, 휘발유를 대체하는 운송용 연료로 활용된다. 다만 높은 산소 함유량에 따른 강한 부식성 등으로 휘발유를 전적으로 대체하지는 못하고 첨가제의 형태로 이



용되고 있다.<sup>2)</sup> 현재 상용화된 에탄올은 대부분 옥수수  
와 사탕수수 등 식량자원을 기반으로 하고 있어 세계 농  
업기상여건 악화로 작황이 악화될 경우 원료수급에 차  
질을 빚을 수 있다는 문제점을 내포하고 있다. 원료비용  
이 높아 휘발유에 비해 가격경쟁력이 떨어진다는 점도  
약점이다. 주요 생산국들은 이를 극복하기 위해 목질계  
등 저렴한 바이오매스를 활용하는 기술개발에 적극 나

서고 있어 향후에는 이들을 기반으로 하는 에탄올 생산  
이 전분계 기반 생산을 추월할 것으로 예상된다.

한편 세계 에탄올 생산은 미국과 브라질이 2강을  
형성하고 있는데, 2015년 기준 시장점유율은 미국  
57.7%, 브라질 27.6%, 유럽 5.4% 등이며, 소비부문  
에서도 2014년 기준 미국 56%, 브라질 26.3%, 유럽  
6.4%의 순이다.<sup>3)</sup>

〈표 2〉 단계별 바이오연료 구분

1세대	2세대	3세대
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 에탄올, 부탄올, 바이오알콜, 프로판올(전분계/당질계)</li> <li>- 바이오디젤(식물성 기름, 동물성 지방)</li> <li>- 그린디젤(동물성 지방)</li> <li>- 바이오에테르(알코올)</li> <li>- 바이오가스(농산부산물)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 에탄올(셀룰로오스계)</li> <li>- 바이오디젤(해조류, 폐지, 펄프)</li> <li>- 바이오수소(해조류)</li> <li>- 메탄올(식용작물)</li> <li>- 디메틸푸란(과일, 채소)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 해조류 기반 바이오연료(기술개발로 2세대보다 더 다양한 종류 생산)</li> </ul>

주: ( )는 원료. 자료: Biofuel.org.uk

## 2) 바이오디젤

바이오디젤은 주로 콩과 유채씨유 등 식물성 기름과  
동물성 지방 등을 원료로 에스테르화 공정<sup>4)</sup>을 거쳐 만들  
어진다. 식물성 기름은 점도가 높아 엔진에 그대로 쓰이  
기가 어려운데, 메탄올 등 촉매를 이용하여 알코올과 반  
응시키면 점도가 낮은 알킬에스테르가 생성되고, 이것  
이 곧 바이오디젤이다. 바이오디젤은 에탄올과 달리 디  
젤엔진에 그대로 사용할 수 있으며 기존 디젤유의 첨가  
제로도 활용된다.

바이오디젤은 10% 정도의 산소를 함유하고 있어 연  
소시 기존 디젤유에 비해 대기오염 물질이 40~60%  
적게 배출되는 친환경연료이다. 생애주기 분석(Life  
cycle analysis)에 의하면 1kg의 바이오디젤은 같은 양  
의 디젤유에 비해 3.2kg의 이산화탄소 저감효과가 있  
는 것으로 알려져 있다.

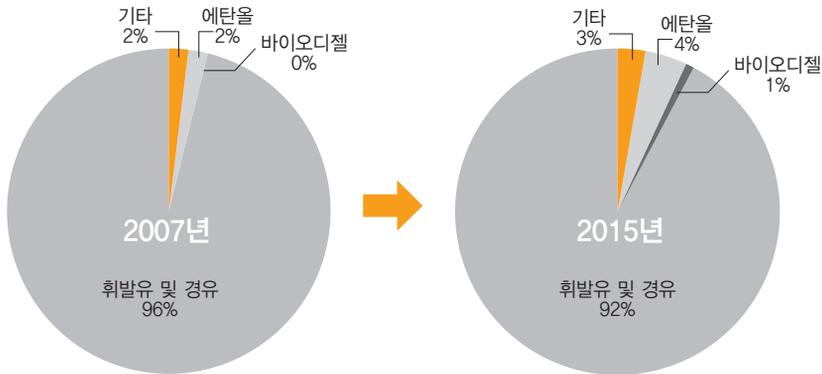
바이오디젤은 에탄올과 마찬가지로 식량을 원료로  
사용하기 때문에 수급불안과 식량안보 문제가 뒤따르  
는데, 이를 해소하기 위해 폐식용유를 이용하거나 식용  
으로 사용되지 않는 유지식물을 원료로 활용하는 연구

2) 가변연료자동차(Flexible Fuel Vehicle, FFV)의 경우 에탄올만으로도 가능

3) 자료: 생산은 Renewable Fuels Association, 소비는 EIA 데이터를 참고

4) 에스테르는 산과 알코올로부터 물이 빠져 생성되는 화합물을 의미하며, 산이 에스테르 화합물로 변환하는 것을 에스테르화(반응)라고 함

[그림 2] 미국 운송부문에서 에탄올 및 바이오디젤 비중 변화



자료: 미국 에너지정보청 Monthly Energy Review

가 진행되고 있다.

### 3) 바이오부탄올

전술한 바와 같이 에탄올은 대체 운송연료로 주목받고 있지만 연비가 낮고 기존 휘발유엔진에 바로 사용할 수 없으며, 주유소에 새로운 공급 인프라를 설치해야 하는 등 여러 단점들이 지적되고 있다. 바이오부탄올은 에탄올의 이러한 단점을 극복하기 위해 개발된 바이오연료로, 환경 측면에서도 에탄올에 비해 뛰어난 것으로 평가된다.

바이오부탄올 생산기술은 1861년 파스퇴르에 의해 처음 발표되었고 개발기술은 1910년대 영국에서 상업화되었으나, 석유화학 기술의 발달로 경쟁력을 상실하여 오랫동안 상업적 생산이 중단되어 왔다. 그러다가 2000년대 중반 유가가 급등하면서 중국을 중심으로 상

업적 생산이 재개되었고 새로운 기술이 개발되면서 최근 생산이 늘고 있는 추세이다.

### 4) 바이오가스

바이오가스는 인간의 활동으로 자연스럽게 발생된 유기성 폐기물을 분해하여 얻어지는 메탄가스로 다른 바이오연료에 비해 많은 장점을 지닌다. 먼저 폐기물을 원료로 하기 때문에 작물재배를 위한 넓은 토지와 노력이 소요되지 않으며 식량안보 문제와도 상충되지 않는다. 둘째, 2013년부터 국제적으로 유기성 폐기물에 대한 해양 투기가 금지됨에 따라 폐기물 처리에 도움이 되며, 셋째 온실가스인 메탄의 대기 방출을 억제함으로써 온실가스 저감효과가 크다. 마지막으로 바이오가스는 천연가스와의 물성이 유사해 기존 천연가스 인프라를 활용할 수 있다.<sup>5)</sup>

바이오가스는 기체의 형태이기 때문에 생산지에서

5) 임영관 외(2012), p.125~126



파이프라인을 통해 소비자에게 공급되며 주로 열과 스팀 생산, 전력 생산, 화학물질 생산 등에 활용되고 일부는 운송연료로도 사용된다. 아직은 충분한 생산이 뒷받침되지 않아 보급이 미미한 편이나 각국이 폐기물 자원의 에너지자원화에 적극 나서고 있어 성장 가능성이 높은 것으로 평가된다.

### 5) 바이오수소

수소는 일반적으로 물의 전기분해를 통해 만들어지지만 조류 및 광합성 세균과 혐기성 세균 등 비광합성 세균을 이용하여 생물화학적으로도 생산할 수 있는데 이를 바이오수소라 한다.

바이오수소는 연소할 때 이산화탄소가 발생하지 않기 때문에 가장 이상적인 연료라 할 수 있으며, 유기성 폐기물을 원료로 사용할 수 있어 바이오가스와의 동시 생

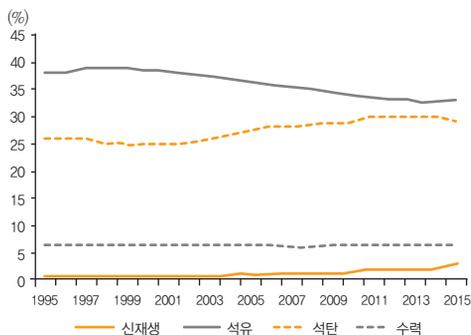
산이 가능하다.

### 다. 글로벌 바이오연료 생산 및 소비

전세계 에너지원 중에서 신재생에너지가 차지하는 비중은 아직 미미하다. 에너지통계연보<sup>6)</sup>에 따르면 2015년 세계 1차 에너지소비 131.5억toe 중 신재생에너지는 3.6억toe로 2.8%에 불과해 33%인 석유와 29%인 석탄에 한참 뒤쳐졌으며 수력(7%)의 절반에도 미치지 못한다. 이에 따라 신재생에너지에서 50% 이상을 점유하고 있는 바이오연료 역시 전체 에너지원에서 차지하는 비중은 상당히 낮다.

하지만 바이오연료의 성장세는 다른 에너지원을 크게 상회한다. 2001년부터 2015년까지 원유생산 22.4%, 천연가스 46.6%, 석탄 66.4% 증가하는 동안 바이오연료는 무려 715% 늘어났다.<sup>7)</sup> 바이오연료에 대

[그림 3] 세계 1차 에너지소비에서 에너지원별 비중



자료: 에너지통계연보

[그림 4] 세계 바이오연료 생산 추이



자료: BP

6) 에너지경제연구원 "2016 에너지통계연보"

7) BP Statistical Review of World Energy June 2016

한 투자도 활발히 진행되고 있는데, BNEF에 따르면 2015년 한 해 동안 바이오연료와 재생에너지 발전 분야에 대한 투자는 2,860억달러로 사상 최고치를 기록하였다.

국가별로는 미국과 브라질의 비중이 압도적이다. 미국은 2006년 브라질을 제친 이후 최근까지 세계 1위를 유지하고 있으며, 2015년 바이오연료 생산은 3,098만toe로 전세계에서 41.4%를 차지했다. 브라질은 최근 증가세가 둔화되기는 했으나 2015년 1,764만toe로 23.6%를 차지하며 부동의 2위를 유지하고 있다. 독일(313만toe, 4.2%)과 중국(243만toe, 3.2%), 아르헨티나(196만toe, 2.6%)가 그 뒤를 잇고 있지만 미국과 브라질과의 격차가 상당히 벌어져 있다.

지역별 생산은 미국과 브라질에 힘입어 북미와 남미의 점유율이 각각 42.9%와 27.9%에 달했으며, 유럽 및 유라시아 18.3%, 아시아태평양 10.8% 등이다.

앞서 언급한 바와 같이 바이오연료는 주로 운송연료로 사용되며 에탄올과 바이오디젤로 대표된다. 아래에서는 에탄올과 바이오디젤의 생산과 소비, 주요국별 현황에 대해 살펴보도록 하겠다.

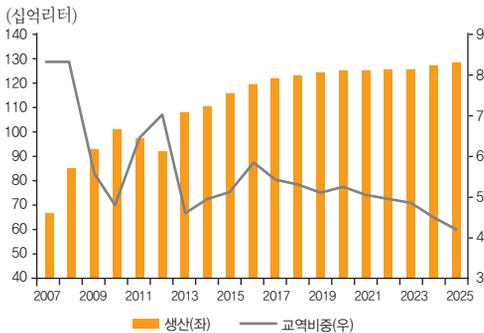
1) 에탄올

에탄올은 가장 대표적인 바이오연료로 전체 바이오연료에서 80% 가까운 비중을 차지한다. FAO에 따르면 2013~2015년 연평균 에탄올 생산은 1,115억리터였으며, 2025년에는 1,282억리터에 달할 것으로 예상된다. 원료별로는 옥수수 기반 생산이 53%, 사탕수수 기반은 24%였는데, 향후에는 비식용작물 활용이 늘어나 옥수수 기반의 비중은 조만간 50%를 하회할 것으로 보인다.

소비는 2013~2015년 중 1,115억리터로 균형을 이루었으며 2025년에는 1,292억리터로 생산을 초과할 것으로 전망된다. 에탄올이 운송연료로 사용되는 비중은 전체적으로 80% 내외이며, 선진국은 90% 내외로 신흥국의 77~78%보다 높다. 한편 에탄올의 교역량은 소비량의 4~5% 수준에 불과한데, 이는 각국이 에탄올을 비롯한 바이오연료를 에너지안보 제고 측면에서 자급자족하고 있음을 보여주는 것이다.

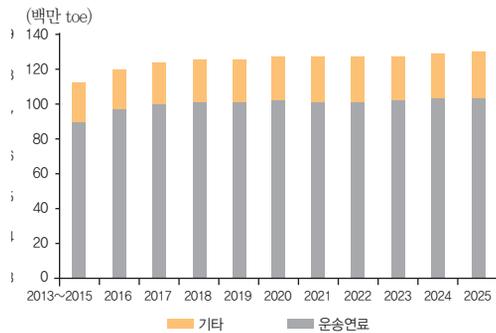
국가별로는 미국이 생산과 소비에서 모두 50% 이상 비중을 차지하고 있으며, FAO는 2025년에도 미국의

[그림 5] 세계 에탄올 생산 및 교역



자료: FAO

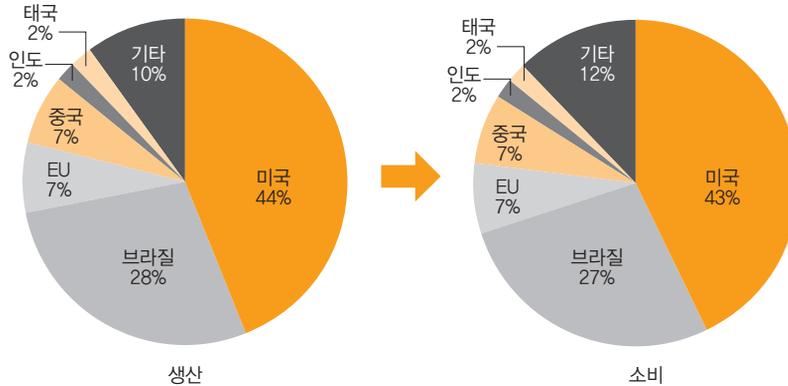
[그림 6] 세계 에탄올 수요 전망



자료: FAO



[그림 7] 에탄올 생산 및 소비 국가별 비중(2025년)



자료: OECD/FAO

점유율이 43~44% 수준을 유지할 것으로 예상된다. 미국에서 에탄올 생산은 대부분 옥수수를 원료로 하며, 자국내에서 생산된 옥수수의 40% 내외가 에탄올 생산용으로 사용된다.

에탄올은 바이오연료 혼합의무제도(Renewable Fuel Standard, RFS)에 의거하여 휘발유와 혼합한 형태로 소비되는데, 10%의 에탄올이 함유된 휘발유는 E10, 15%는 E15로 구분된다. E10은 모든 휘발유차량에 사용할 수 있으며 E15는 2001년 이후 생산된 경량 차량(light-duty vehicles)에 한해서 사용이 가능하다. E85는 에탄올 함유량이 51~83%인 대체연료로 정의되는데, 가변연료차량(flexible-fuel vehicles)만 사용할 수 있다.

브라질은 세계 2위 생산 및 소비국으로 세계에서 차지하는 비중은 30%에 육박한다. 브라질은 에너지의 수입의존도를 낮추고 경제를 활성화시키기 위해 일찍부터 에탄올산업 육성에 많은 노력을 기울였고, 2000년대 중반까지 세계 1위 자리를 유지하였다.

브라질의 에탄올은 주로 사탕수수과 사탕무를 원료

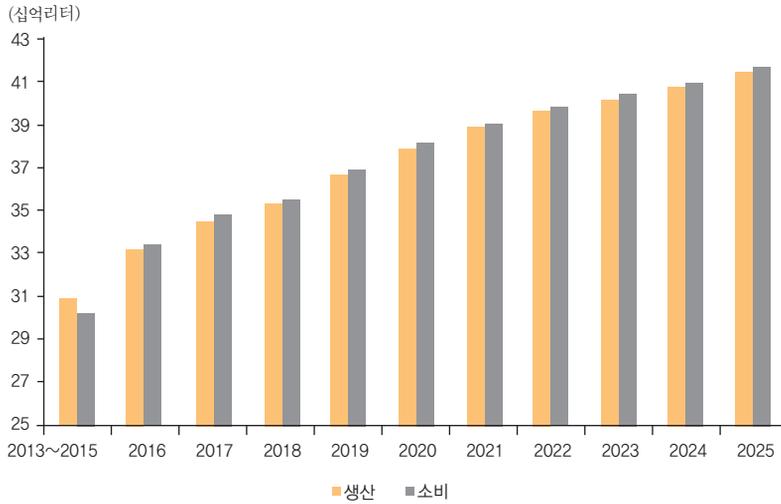
로 하며, 옥수수를 기반으로 하는 에탄올은 2016년 기준 0.4%에 불과하다. 하지만 브라질은 사탕수수 공급이 계절에 따라 편차가 크다는 점 등으로 옥수수 기반 생산을 늘릴 계획이다. 한편 1980년대 초부터 100% 에탄올 자동차 보급에 힘쓴 결과 브라질에서 운행하는 거의 모든 차량은 에탄올만으로도 운행이 가능해 다른 국가에 비해 에탄올 수요가 빠르게 증가할 수 있는 여건이 갖춰져 있다 하겠다.

## 2) 바이오디젤

바이오디젤 생산은 2013~2015년 중 연평균 311억리터였으며, 2025년에는 414억리터로 33% 증가할 것으로 예상된다. 같은 기간 중 에탄올 생산 증가율이 11%로 예상된다는 점을 감안하면 성장속도가 상대적으로 빠르다고 할 수 있다. 원료로는 콩, 유채씨 등 유지종자 기반 생산이 80%로 절대적인 비중을 차지하고 있으나, 주요국들이 최근 해조류에 대한 연구개발에 적극 나서고 있어 향후에는 이를 기반으로 하는 바이오디



[그림 8] 세계 바이오디젤 생산/소비



자료: OECD/FAO

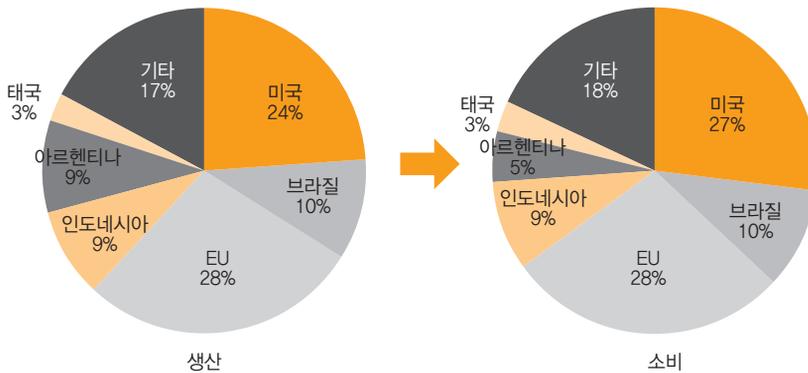
젤 생산이 크게 늘어날 것으로 기대된다.

소비는 2013~2015년 연평균 303억리터로 공급을 소폭 하회하였으나, 2020년부터는 본격적인 공급부족

으로 전환될 전망이다. 바이오디젤은 디젤유의 대체연

료로 별다른 엔진 개조 없이 바로 사용할 수 있으나 대 부분 첨가제 형태로 사용된다. 미국에서는 디젤유에 바

[그림 9] 바이오디젤 생산 및 소비 국가별 비중(2025년)



자료: OECD/FAO



이오디젤을 2%, 5%, 20% 혼합한 B2, B5, B20이 일반적으로 사용되며, 순수한 바이오디젤인 B100과 더불어 추운 날씨에 취약하기 때문에 동절기에 별도의 부동액을 첨가해야 한다.

바이오디젤은 에탄올과 달리 EU가 최대 생산국이며 소비국이다. 2014년 기준 EU의 생산 및 소비 비중은 각각 38%와 44%이며, 2025년에는 생산과 소비 모두 28% 수준으로 낮아지겠지만 세계 1위 자리를 지킬 것으로 예상된다.

미국은 혼합의무비율을 맞추기 위해 EU를 빠르게 추격하여 2014년 기준 16%와 20%인 생산 및 소비 비중이 2025년에는 24%와 27%로 큰 폭 확대될 전망이다. 브라질과 아르헨티나 역시 정책적 뒷받침으로 바이오디젤 시장에서도 강세를 나타낼 것으로 보이며, 아시아에서는 인도네시아와 태국의 약진이 점쳐진다.

### 3. 주요국의 정책대응

주요국들의 바이오연료 정책은 신재생에너지 정책이라는 큰 틀에서 추진되고 있으며, 화석연료 대비 열악한 경제성을 극복하기 위해 국가적 차원에서의 R&D 지원, 보조금 지급, 의무사용제 실시 등을 주요 골자로 하는 보급확산 정책이 장기 계획 하에 시행되고 있다.

식량자원 활용에 따른 비판적 여론이 적지 않은 상황이나 인류의 생존을 위협하는 기후변화를 해소할 유력한 대안이라는 측면에서 해마다 각국의 정책대응이 강화되고 있다. 다만 국가별로 바이오연료 정책의 연원과 편차가 심하고 기술력 격차도 커 후발국들에 대한 선발국들의 지원이 필요한 것으로 사료된다.

아래에서는 바이오연료 선발국이라 할 수 있는 미국, 브라질, EU와 최근 부각되고 있는 아시아국가의 정책

에 대해 세부적으로 살펴보겠다.

#### 가. 미국

에탄올이 운송연료로서 본격적으로 부각되기 시작한 것은 1970년대 후반부터이다. 1978년 최초의 에탄올 장려법이라 할 수 있는 에너지정책법(the Energy Policy Act)은 에탄올 생산기업에 갤런당 40센트의 정액 보조금 지급을 명시하였고, 1988년 대체자동차연료법(Alternative Motor Fuels of Act)은 자동차회사에게 장려금을 지급하여 가변연료차량(FFVs) 생산을 촉진하였다. 1992년과 2005년에는 에너지정책법이 개정되어 현재 시행되고 있는 지원제도의 골격이 갖춰졌는데, 특히 휘발유 연소시 발생하는 환경오염물질 MTBE(Methyl Tertiary Butyl Ether)를 규제함으로써 에탄올 수요가 빠르게 증가하였다.

에탄올에 대한 정책적 지원은 2006년 들어 새로운 전기를 맞이하게 되었다. 당시 부시 대통령은 연두교서에서 미국의 석유중독 및 높은 대외의존도를 낮추기 위해 에탄올산업에 대한 적극적 지원을 천명했고, 2007년 에너지 독립 및 안보법(Energy Independence and Security Act)이 제정되어 에탄올 등 바이오연료의 의무혼합제, 즉 재생에너지기준(Renewable Fuel Standard, RFS) 프로그램이 본격적으로 시작되었다.

RFS는 화석연료 기반 운송연료, 난방유, 제트유 등을 대체하기 위해 바이오연료를 의무적으로 혼합하여 사용하도록 하는 프로그램으로 미국 환경보호국(EPA) 주관하에 시행되고 있다.

RFS에 따르면 미국 48개주 운송연료의 정제사업자(refiners), 수입업자(importers), 혼합업자(blenders) 등 공급업자들은 연료의 일정 비율을 에탄올 등 바이오연료로 공급해야 한다. RFS 의무이행기간은 1년 단위



〈표 3〉 RFS2 연도별 바이오연료 의무할당량(십억갤런)

연도	전통 바이오연료	개량형	셀룰로오스계	합계
2010	12,0	0,95	0,1	12,95
2016	15,0	7,25	4,25	22,25
2017	15,0	9,0	5,5	24,0
2018	15,0	11,0	7,0	26,0
2019	15,0	13,0	8,5	28,0
2020	15,0	15,0	10,5	30,0
2021	15,0	18,0	13,5	33,0
2022	15,0	21,0	16,0	36,0

주: 전통 바이오연료는 옥수수 기반 에탄올. 개량형에는 셀룰로오스계 에탄올과 바이오디젤 포함  
 자료: EPA Renewable Fuel Standard Program

이며 EPA가 연도별로 의무할당량을 규정해 놓고 있다. RFS는 2007년 9월 발효되어 2010년 11월 1기(RFS1)가 종료되었고, 현재는 RFS2가 진행 중이다.

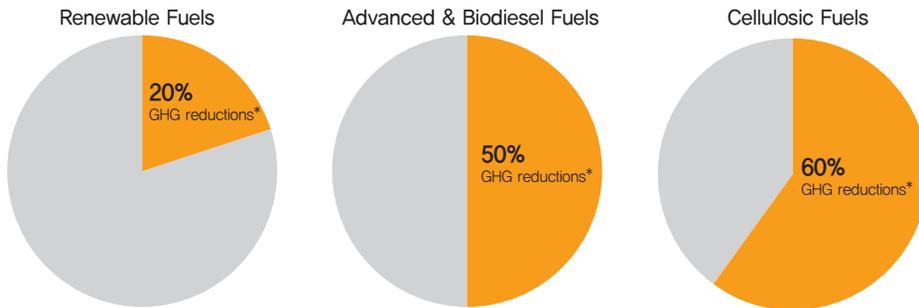
공급업자들이 의무할당량을 준수하지 못 할 경우 EPA는 페널티를 부과할 수 있는데, 공급업자들

은 이를 회피하기 위해 Renewable Identification Numbers(RINs)를 활용한다. RINs는 바이오연료를 생산 또는 수입할 때 부여되는 번호로 공급업자들은 에탄올 등을 혼합하거나 RINs를 구매함으로써 RFS 의무를 이행할 수 있다. RINs는 부족분 또는 잉여분을 다음

[그림 10] 바이오연료 카테고리별 온실가스 감축 기준

Lifecycle Greenhouse Gas(GHG) Emissions

GHG emissions must take into account direct and significant indirect emissions, including land use change.



\*compared to a 2005 petroleum baseline

자료: EPA Renewable Fuel Standard Program 인용



해로 이월할 수 있으며 당해연도 의무사용량 중 20%까지 전년도 RINs로 대체할 수 있다. RINs는 장외시장을 통해 거래되고 있으며, 시카고상업거래소에 관련 선물 계약이 상장되어 있다.

EPA는 바이오연료의 온실가스(GHG) 감축 기준<sup>8)</sup>을 4가지 카테고리로 구분하여 규정하고 있다. 이에 따르면 옥수수를 기반으로 하는 전통 바이오연료는 전주기(life cycle) 온실가스 20% 감축을 충족해야 하며, 개량형의 경우에는 50%의 온실가스 감축을 요구한다. 셀룰로오스계 바이오연료와 바이오디젤은 각각 60%와 50%의 온실가스 감축을 요구한다.

의무혼합제 외에도 미국은 생산량에 기초한 각종 세금공제, 연구개발 지원, 대출보증, 생산보조금 지급, 바이오연료 차량 구매시 세제혜택 등 생산·유통·소비 전단계에 걸쳐 다양한 지원수단을 운용하고 있다.

## 나. 브라질

풍부한 사탕수수를 원료로 활용하는 덕분에 세계 최고의 원가 경쟁력을 지닌 브라질은 1970년대 중반부터 에탄올을 중심으로 하는 바이오연료 프로그램을 시작하였다. 1차 오일쇼크로 인해 유가가 급등하고 때맞춰 설탕가격이 폭락하면서 경제적으로 어려움에 처하자 브라질은 1975년 국가알코올 프로그램(Proalcool)에 착수했는데, 이는 사탕수수로부터 휘발유와 혼합할 수 있는 에탄올을 생산하는 계획이었고 1979년까지 에탄올 생산을 5억리터에서 30억리터로 늘리는 것을 목표로 하였다. 최초 에탄올 의무 혼합비율은 4.5%였으나

곧 목표를 20%로 상향조정했고, 1980년에는 에탄올 생산이 30억리터를 상회한 가운데 혼합비율은 약 17%에 달했다.<sup>9)</sup> 국가알코올 프로그램을 위해서 브라질 정부는 에탄올 정제시설 건설에 약 20억달러 규모의 신용보증 및 저금리 등 혜택을 제공하였고, 국영석유회사로 하여금 에탄올을 높은 가격에 구매하고 소비자에게는 낮은 가격으로 판매<sup>10)</sup>하도록 하는 등 적극적인 지원에 나섰다.

1979~1989년 동안에는 2차 오일쇼크에 따라 국가알코올 프로그램의 두 번째 단계가 시행되었다. 두 번째 단계에서는 사탕수수 재배면적을 확대하고 100% 에탄올(E100) 차량의 생산·보급을 목표로 하였는데, 이는 에탄올을 휘발유 혼합제가 아닌 순수한 대체연료로 활용하겠다는 의지를 보여준 것이다. 이를 위해 브라질 정부는 에탄올 차량 구매시 금융지원 및 세금면제 등 여러 혜택을 제공하였고, 에탄올 판매가격을 휘발유의 65%로 고정하였다. 이에 힘입어 1980년대 E100으로 운행가능한 차량 판매는 450만대 이상으로 같은 기간 중 휘발유 차량 190만대를 크게 앞질렀다.

1990~2002년은 바이오연료 산업이 침체에 빠진 시기이다. 1986년 국제유가의 폭락과 뒤이은 저유가 시대의 장기화로 에탄올 생산이 감소세로 돌아섰고, 국가알코올 프로그램도 종료되어 에탄올 산업에 대한 정부의 지원이 중단되었다. 1980년대 중반 전체 자동차 판매에서 94%를 차지했던 에탄올 자동차는 1990년대 말에는 거의 제로 수준으로 줄었다. 그럼에도 불구하고 브라질 정부는 휘발유에 에탄올 22%를 의무적으로 혼합하는 정책을 유지하였고, 생산 및 수출 쿼터를 폐지

8) 2005년 석유의 온실가스 배출량 기준

9) USDA Foreign Agriculture Service(2010), "Brazil Biofuels Annual"

하는 등 탈규제에 나서 향후 에탄올 산업의 부활에 대비하였다.

이러한 브라질 정부의 전략적 대응은 2003년 국제유가의 장기 상승국면 시작과 더불어 빛을 발휘하기 시작했다. 정부가 가변연료차량 생산을 확대하기 위해 판매세를 2%p 낮추는 세금우대정책을 추진하고 에탄올 공급 인프라를 대거 확충함에 따라 가변연료차량은 2003년 5만대 수준에서 2007년에는 약 200만대, 2011년에는 300만대로 급증하였다.<sup>11)</sup>

최근에도 브라질은 에탄올산업에 대한 정책적 지원을 이어가고 있다. 1977년 에탄올 4.5%로 시작된 의무혼합제는 여러 차례 상향조정되어 2016년 기준 27%로 높아졌고, 가변연료차량에 대한 세제혜택과 에탄올 산업에 대한 금융지원 등이 제공되고 있다. 소비활성화를 위해 20% 부과되던 수입관세도 2010년 4월 에탄올이 면세대상으로 지정된 이후 현재까지 제로를 유지하고 있다.<sup>12)</sup>

2004년에는 석유 수입의존도 완화 및 환경보호 등

〈표 4〉 브라질 에탄올 의무혼합비율 변천

기간	혼합비율
2006년 1~2월	25%
3~10월	20%
2006년 11월~2007년 5월	23%
2007년 6월~2010년 1월	25%
2010년 2~4월	20%
2010년 5월~2011년 9월	25%
2011년 10월~2013년 4월	20%
2013년 5월~2015년 3월	25%
2015년 3월~최근	27%

자료: USDA Foreign Agriculture Service(2016), "Brazil Biofuels Annual Report 2016"

을 목적으로 바이오디젤에 대한 지원도 본격적으로 시작되었다. 국가바이오디젤생산 프로그램(National Biodiesel Production Program)에 따라 바이오디젤의

의무혼합제<sup>13)</sup>가 실시되었고, 에탄올과 마찬가지로 생산 및 판매에 각종 세제혜택 등을 제공하고 있다.

10) 이로 인해 브라질 국영석유회사는 약 40억달러의 손실을 입었다.(조성권 외(2012), p. 153)

11) 조성권 외(2012), p. 156

12) USDA Foreign Agriculture Service(2016), "Brazil Biofuels Annual Report 2016"

13) 혼합비율은 2008년 2%로 시작되었으며 2019년에는 10%로 상향조정



〈표 5〉 브라질의 운송연료 소비

(단위: 십억리터)

구분	2011	2012	2013	2014	2015	2016 上
디젤	52.26	55.90	58.57	60.03	57.21	26.67
휘발유	35.49	39.70	41.43	44.36	41.14	20.89
합수화탄을	10.90	9.85	11.76	12.99	17.86	7.22

주: 디젤에 바이오디젤 포함, 휘발유에 무수에탄올 포함

자료: 브라질 Natural Gas and Biofuels National Agency

### 다. EU

유럽에서의 바이오연료 사용은 2003년 ‘운송부문 바이오연료 및 기타 재생연료 사용 촉진 지침’과 ‘바이오연료 관련 세제 지침’의 도입으로 본격화 되었다. 사용 지침에는 EU 역내 운송연료에서 바이오연료의 대체 목표량이 구체적으로 설정(2005년 2%, 2010년 5.75%) 되었고, 세제 지침에는 회원국별로 바이오연료 사용에 대한 세금면제와 감세 조항을 두도록 하였다.

정책적 지원에 힘입어 EU 운송부문에서 바이오연료 비중이 2003년 0.5%에서 2005년 1%로 높아졌으나 목표의 절반에 그쳤고, 회원국별로 목표치 2%를 넘어선 국가가 독일(3.75%)과 스웨덴(2.23%) 2개국에 그치는 등 이행정도의 편차가 컸다.<sup>14)</sup>

2007년 ‘재생에너지 로드맵’은 EU 바이오연료 정책에 전환점이 되었다. 여기에는 2020년까지 총 에너지의 20%를 의무적으로 재생에너지로 대체한다는 내용이 담겨져 있는데, 이를 바탕으로 EU 집행위원회는

〈표 6〉 EU 회원국별 바이오디젤 생산 및 소비

(단위: 십억리터)

구분	생산			구분	소비		
	2013	2014	2015		2013	2014	2015
독일	33.07	38.08	33.51	프랑스	29.71	32.32	32.49
프랑스	24.76	26.81	24.42	독일	25.13	26.30	24.42
네덜란드	15.62	19.54	19.88	이탈리아	15.17	13.13	13.20
스페인	6.68	10.16	11.03	영국	9.77	9.54	9.09
폴란드	7.36	7.86	7.95	스웨덴	5.69	6.82	8.52
합계	119.83	133.41	135.35	합계	137.75	137.96	138.99

자료: USDA Foreign Agriculture Service(2016), "EU Biofuels Annual 2016"

14) 신용광(2007), p.4



〈표 7〉 동남아 국가별 바이오연료 혼합목표

구분	인도네시아	말레이시아	필리핀	태국
바이오디젤	2015년 15% 2020년 30% 2025년 30%	2010년 5%	2007년 1% 2009년 2% 2011년 5%	2008년 2% 2011년 5% 2012년 10%
에탄올	2015년 1% 2020년 5% 2025년 20%		2009년 5% 2011년 10%	2008년 20% 2012년 85%

자료: 안병준 외(2014), USDA Foreign agricultural Service(2016) "Indonesia Biofuels Annual 2016"

2009년 '2020 기후 및 에너지 패키지'를 채택하였다. 여기에 포함된 재생에너지 지침에 따라 EU 회원국들은 2020년까지 바이오연료 의무혼합비율을 10%까지 높일 것을 요구받았다. 한편 1998년 마련된 '연료품질 지침'은 에탄올과 바이오디젤 제조 과정에서 투입되는 물질에 대한 혼용 기준을 제시함으로써 바이오연료의 효율성과 온실가스 감축 효과를 최대화 하고자 하였다.

오늘날에도 EU의 바이오연료 정책은 '2020 기후 및 에너지 패키지'를 기반으로 한 '재생에너지 지침'과 '연료품질 지침'을 기본 축으로 시행되고 있다. 2015년 기준 에탄올과 바이오디젤의 혼합비율은 3.4%와 6.5%로 목표에 크게 못 미치고 있는 상황이지만, 사용량이 꾸준히 늘고 있으며 EU 집행위원회가 운송부문에서의 재생에너지 대체율을 높이기 위한 정책적 노력을 지속하고 있어 2020년까지 목표 달성을 기대해 본다.

### 라. 아시아

인도네시아, 말레이시아, 태국, 베트남, 필리핀 등 동남아 국가들은 화석연료를 대체할 환경 친화적이고

지속가능한 에너지원으로 바이오연료를 지목하고 이에 대한 지원을 늘리고 있다. 이들은 풍부한 열대림을 보유하고 있어 상당한 원가 경쟁력을 보유하고 있으며, 지속적인 인구증가와 산업화로 안정적인 에너지 공급이 필수적인 상황이어서 바이오연료 산업이 빠르게 성장할 토대를 갖추고 있다고 하겠다.

동남아 국가들은 사탕수수과 당밀, 카사바(이상 에탄올), 오일팜, 코코넛(이상 바이오디젤) 등을 원료로 사용하여 바이오연료 혼합 의무화, 세제혜택, 보조금 지급 등의 정책을 시행하고 있다. 가장 적극적인 인도네시아의 경우 바이오연료 사용 확대를 위해 2009년 리터당 11센트 수준이었던 보조금을 2011년 27센트로 높였고, 인도네시아 의회는 이를 더욱 확대하여 2012년부터 30센트 이상으로 늘리는 것에 동의하였다.<sup>15)</sup>

그럼에도 불구하고 동남아 국가들의 바이오연료 정책은 대부분 목표치를 달성하지 못하고 있으며, 투자부족과 유통 인프라 부족 등 해결해야 할 과제들이 산적해 있어 본궤도에 오르기까지 다소 시일이 필요해 보인다. 하지만 정부의 의지가 강력해 향후 글로벌 시장에서 중요한 영향을 미칠 수 있을 것으로 예상되므로 관

15) 안병준 외(2014), p.8



련 동향을 예의주시할 필요가 있다.

중국의 바이오연료 정책은 에너지 안보와 과도한 식량재고 해소를 위해 2000년대초 본격적으로 마련되었고 현재 에탄올 생산 세계 3위의 지위를 차지하고 있지만, 상대적으로 큰 주목을 받지 못하고 있다. 이는 국내 옥수수 수급 및 가격 변동성이 크고 식량안보가 아직 불안하다는 점에 기인한다. 이를 반영하여 중국 정부는 곡물을 이용한 바이오연료 생산 보조금을 점차 줄여나가는 대신 비곡물 원료를 이용한 소위 1.5세대(Generation 1.5) 바이오연료에 톤당 750~800위안의 보조금을 2013년부터 지급하고 있다.

중국도 역시 바이오연료 혼합이 의무화 되어 있고, 하이룽장성 등 6개 성에서 E10이 사용되고 있다. 바이오디젤은 제한된 생산설비 등으로 의무혼합제도가 시행되지 않고 있으며 일부 도시에서만 연료로 승인되어 제한적으로 사용된다. 2016~2020년 경제개발 5개년 계획에 셀룰로오스계 및 해조류 기반 바이오연료 생산을 늘리는 방안이 논의되고 있지만 구체적인 목표는 정해지지 않고 있다.

일본의 바이오연료 정책은 다른 국가들에 비해 늦게 시작되었다. 낮은 식량자급률과 식량가격에 민감한 경제구조로 곡물을 기반으로 하는 바이오연료에 대한 비판적인 시각이 컸기 때문이다. 하지만 2011년 3월 동 일본 대지진으로 원전위기가 발생하면서 안전하고 지속가능한 에너지로서 바이오연료에 주목하였고, 2014년 마련된 기본에너지계획에 구체적인 목표가 명시되었다.

여기에 따르면 석유정제업자들은 2010년 2.16억톤인 연간 바이오연료 공급을 2017년에는 5억리터로 두

배 이상 늘려야 하는데 식량안보와의 이해상충을 피하기 위해 셀룰로오스계를 기반으로 해야 한다. 아울러 일본 정부는 바이오연료 산업 발전을 뒷받침하기 위해 리터당 53.8엔의 가스세(Gas Tax)를 부과하고, 바이오연료 생산업자에 각종 세금공제 혜택을 제공하는 등 정책지원을 시행하고 있다.

#### 4. 시사점

우리나라는 2013년 기준 세계 8위의 에너지 소비대국이다.<sup>16)</sup> 에너지수입액은 2014년 기준 1,741억달러로 전체 수입액에서 33%를 차지했으며, 해외 수입의 의존도는 95.2%에 달했다. 총 에너지 수입액의 74.6%를 차지하는 원유의 경우 중등 의존도가 84%로 절대적이며, 에너지원별로 화석연료 비중이 83.3%(석유 38.4%, 석탄 29.6%, 천연가스 15.3%)로 과도하게 높아 우리나라의 에너지안보는 매우 취약한 상황이다.

전 세계적인 기후변화 대응 및 온실가스 감축 문제 역시 에너지소비 측면에서 우리에게 위협요인이라 할 수 있다. 2015년 12월 파리기후협약은 선진국뿐만 아니라 개도국도 전 지구적 기후변화 대응노력 차원에서 스스로 온실가스 감축목표를 설정하고 이를 준수하도록 하는 방안을 채택하였는데, 화석연료에 크게 의존하는 우리나라 경제구조상 이는 커다란 도전이 아닐 수 없다.

이러한 대내외적 상황을 고려하면 바이오연료는 좋은 대안이 될 수 있다. 바이오연료는 전통 화석연료 자원이 절대적으로 부족한 우리에게 이를 대체할 수 있는

16) 석유소비비는 세계 9위, 전력소비비는 세계 8위(2016 신재생에너지백서, p.56)

에너지원이 되는 동시에 온실가스 감축에도 기여할 수 있기 때문이다. 과거 바이오연료는 식량을 원료로 사용한 탓에 식량자급률이 낮은 국가의 입장에서는 활용하기 쉽지 않은 에너지원이었고, 식량안보를 위협할 수 있어 비판론이 만만치 않았으나 이제는 비식용작물과 유기성 폐기물로 원료가 다원화됨에 따라 차세대 에너지원으로 각광을 받고 있다.

이에 우리나라는 2015년 '2030 에너지 신사업 확산 전략'을 수립하여 저탄소경제로의 이행 계획을 발표하였다. 이에 따르면 1차 에너지 대비 신재생에너지 비중 목표는 2020년 5%, 2025년 7.7%, 2035년 11%로 설정되었으며, 신재생에너지에서 바이오연료의 비중은 2020년 18.8%, 2025년 19%로 결정되었다. 세부적으로는, ①2020년 세계 5대 바이오 및 폐기물 산업 강국 ②비식용 원료 기반 바이오연료 생산기술 국산화 ③열분해 유화, 폐기물 가스화 원천기술 확보 ④폐기물 합성가스 이용 연계시스템 개발 등을 목표로 삼았다.

바이오연료는 우리에게 새로운 기회가 될 것으로 기대된다. 선발국들에 비해 한참 뒤쳐져 있지만 강력한 정책적 지원이 뒷받침 된다면 오히려 가장 빠르게 성장할 수 있는 분야가 될 것이다. 농림어업부문과 협업을 강화한다면 낙후된 1차산업을 부양하는 효과도 기대할 수 있다.

다만 바이오연료를 지원·육성하는 과정에서 몇 가지 제언을 하자면, 첫째 비식량자원 기반 생산기술의 빠른 확보에 보다 많은 지원이 필요하다. 식량자원 기반 생산 비중이 최근 낮아지고 있지만 절대적인 수치가 여전히 높아 식량안보와의 충돌이 우려된다는 점을 불식시키고, 경제성을 확보하여 국내 바이오연료 산업의 경쟁력을 높이기 위해서 독자적인 신기술 개발이 절실히 보인다.

둘째, 시장상황에 관계없는 꾸준한 정책적 노력이 있

어야 한다. 바이오연료는 경쟁상대인 국제유가와 원료인 식량가격 등에 따라 부침이 심한 편인데, 1990년대 시황악화에도 불구하고 정책적 대응을 지속하여 세계 최고 수준의 바이오연료 산업을 육성한 브라질의 사례는 우리에게 좋은 참고가 된다.

셋째, 동남아 국가들과의 전략적 협력이 필요하다. 동남아 국가들은 풍부한 바이오매스를 바탕으로 바이오연료 육성에 적극 나서고 있으나 자금력과 기술력이 부족한 상황이다. 우리나라와 서로 부족한 부분에 대해 협력체제를 구축한다면 상호win-win 하는 새로운 모델을 만들 수 있을 것으로 사료된다.

마지막으로, 차세대 주력산업으로 꼽히는 전기차 산업과의 상충 가능성에 대해 고민해야 한다. 전기차와 바이오연료는 운송부문이라는 공통분모를 가진 경쟁상대이므로 한 부문의 지원·육성 강화는 다른 부문의 약화를 초래할 수 있다. 환경문제 해결과 에너지안보 제고, 그리고 신성장 동력으로서 전기차와 바이오연료 모두 포기할 수 없다면 양 산업의 조화로운 발전 방안을 마련해야 할 것이다.

## 참고문헌

### 〈국내 문헌〉

- 강창용·박현태, “바이오매스 이용의 사회경제적 유용성,” 농촌경제 제 29권 제 5호: 79~95, 2006
- 농림수산식품기술기획평가원, “주요국의 바이오에너지 정책동향과 농업에서의 과제,” IPET 이슈보고서 2015-1호, 2015
- 박순철·이진석, “차세대 바이오연료의 R&D 현황과 이슈,” New & Renewable Energy Vol3 10, No.4, 2014.12
- 박정순, “국제신재생에너지 정책변화 및 시장분석,”



- 기본연구보고서 15-25, 에너지경제연구원, 2015
- 신용광, “EU, 바이오연료 생산 및 이용동향,” 한국농촌경제연구원, 2007
- 안병준 · 이수민, “동남아시아 국가의 바이오에너지 정책 · 산업 동향과 우리나라의 대응방안,” KFRI 국제산림정책토픽 제2호, 국립산림과학원, 2014.1.21.
- 에너지경제연구원, 2016 에너지통계연보
- 윤택동 · 심용주, “브라질 바이오에탄올 연구 현황 및 방향 분석,” 이베로아메리카 제 14권 제 1호:143~177, 대외경제정책연구원, 2012.6
- 임영관 · 이정민 · 정충섭, “신재생에너지로서 바이오 가스 현황,” Appl. Chem. Eng., Vol.23, No. 2, April 2012
- 정혁, “EU의 수송부문 바이오연료 지속가능성 기준 준수로 인한 토지수탈에 관한 고찰,” 한국외국어대학교 EU 연구소, 2016.3
- 정호근, “미국 바이오연료산업 동향과 전망,” 세계농업 제 144호, 한국농촌경제연구원, 2012.8
- 조성권 · 주미영, “에탄올 개발과 식량안보: 브라질과 미국의 사례를 중심으로,” 이베로아메리카 제 14권 2호, 대외경제정책연구원, 2012
- 한국수출입은행, “차세대 바이오연료 산업 동향 및 전망,” 한국수출입은행 해외경제연구소, 2014
- 한국에너지공단, 2016 신재생에너지 백서
- OECD/FAO, OECD-FAO Agricultural Outlook 2016-2025
- USDA Foreign Agricultural Service, “Brazil Biofuels Annual,” 2010.7.30
- \_\_\_\_\_, “Brazil Biofuels Annual 2016,” 2016.8.12
- \_\_\_\_\_, “China Biofuels Annual 2015,” 2015.9.3
- \_\_\_\_\_, “EU Biofuels Annual 2016,” 2016.6.29
- \_\_\_\_\_, “Indonesia Biofuels Annual,” 2016.7.28
- \_\_\_\_\_, “Japan Biofuels Annual,” 2015.7.13
- \_\_\_\_\_, “Thailand Biofuels Annual,” 2016.7.22

#### <웹사이트>

<http://Biofuel.org.uk/>

#### <외국 문헌>

- BP, Statistical Review of World Energy 2016
- EIA, Monthly Energy Review
- EPA, Renewable Fuel Standard Program Overview