

바이오연료 작물 및 정책 현황

바이오연료는 기존연료에 비해 리터당 가격은 낮은 반면 리터당 비용은 높으므로, 정부 개입 없이는 수익성이 낮다. 그러나 각국 정부는 바이오연료를 ① 에너지 안보 ② 이산화탄소 배출량의 감축 ③ 농촌개발의 정책목표를 달성하는 공공재로 보고 보조금 및 세제혜택을 제공하고 있으며, 이러한 정책 시행 결과 세계 바이오연료 시장 규모는 2005년의 157억 달러에서 2011년 830억 달러로 급격하게 성장했다. 정책적 지원에 힘입어 바이오연료의 생산 및 소비량이 증가했으며, 그 결과 원료 곡물의 수요가격 비탄력성이 증가하여 곡물가격이 상승하고 변동성 또한 증가하게 되었다. 이와 같이 곡물가격과 밀접한 관련을 갖게 된 바이오연료에 대해 개괄하고 바이오연료의 원료가 되는 작물의 현황 및 각국의 바이오연료 정책에 대해 소개하겠다.

에너지경제연구원 최수진 연구원(sichoi13206@keei.re.kr)

1. 바이오연료의 종류

바이오연료의 분류방법에는 여러 종류가 있으나 국제에너지기구(International Energy Agency)는 생산기술 성숙도를 기준으로 1세대(전통, conventional)와 2, 3세대(선진, advanced) 바이오연료로 구분하고 있다. 1세대 바이오연료의 생산기술은 이미 그 기반을 검증받았으며 생산용량 측면에서 상용화가 가능하다. 반면에 2, 3세대 바이오연료의 생산기술은 아직 연구개발단계이거나 시범생산 단계이다.

표. 1세대 및 2, 3세대 바이오연료 비교

	생산기술	원료
1세대 바이오연료	발효 에스테르 교환 수소화	전분작물 당료작물 유지작물 폐식용유
2, 3세대 바이오연료	생화학 열화학 바이오리파이너리	목질섬유소 셀룰로오스

자료: IISD

한편 원료에 따라 바이오연료를 분류하면 다음 표와 같다. 대표적인 1세대 바이오연료는 전분작물, 당료작물을 원료로 하는 바이오에탄올과 유지작물을 원료로 하는 바이오디젤이 있다. 바이오에탄올은 주로 작물의 탄수화물을 포도당으로 전환한 후 이를 발효하여 생산하며 휘발유와 혼합하여 차량 연료로 사용한다. 바이오디젤은 주로 메탄올을 이용해 트라이글리세리드(3개의 지방산에 글리세롤이 결합한 형태)에서 글리세롤을 분리하는 에스테르 교환기술로 생산하며, 이 과정에서 생산되는 지방산 메틸에스테르가 바로 바이오디젤이다. 에스테르 교환기술에는 알칼리 촉매기술, 리파아제 지방분해 효소기술, 초임계 메탄올 기술 등 여러 가지가 있으며 통상적으로 알칼리 촉매기술을 이용한다. 바이오디젤은 경유와 혼합하여 차량 및 선박의 연료로 사용하거나 난방연료로 사용한다.

표. 형태 및 원료에 따른 바이오연료 종류

원료	액체 바이오연료				고체 바이오연료	가스 바이오연료
	전분작물	당료작물	유지작물	목질섬유소		
	옥수수 밀 카사바	사탕수수 사탕무 단수수(sweet sorghum)	대두 해바라기씨 팜유	버개스(bagasse) 나무 해조	농업·산림 잔여물, 쓰레기	농업·산림 잔여물, 쓰레기
형태	바이오알콜 (에탄올, 부탄올, 프로판올)		바이오디젤	2, 3세대 바이오연료	펠릿, 숯	바이오가스
용도	차량용		차량, 난방 등		난방, 발전	난방, 발전, 운송

자료:FAO

2. 바이오연료용 작물

1ha의 농지에서 생산된 작물을 원료로 생산되는 바이오연료의 생산량(리터)은 이하 그림과 같이 작물별로 다양하다. 그러나 각 작물마다 요구하는 기후, 토양, 수자원 등 재배조건이 다양하므로, 단수가 가장 높은 작물이 아니라 통상적으로 자국에서 가장 생산량이 많은 작물이 바이오연료의 주원료로 쓰이게 된다. 일례로 미국은 차량연료로 휘발유를 주로 소비하므로 바이오에탄올 산업이 발달했는데, 미국은 콘벨트의 옥수수 생산량이 많기 때문에 옥수수가 에탄올의 주원료로 쓰인다. 유럽에서는 차량연료로 경유

를 주로 소비하므로 바이오디젤 산업이 발달했는데, 유럽은 기후 및 재배조건이 카놀라에 적합하기 때문에 카놀라가 바이오디젤의 주원료로 쓰인다. 그러나 옥수수과 카놀라의 단위면적당 생산량은 사탕수수나 기름야자에 비해 적은 수준이다.

그림. 바이오연료용 작물의 단위면적당 생산량 비교



자료:FAO

제 2장에서는 바이오연료용 작물의 현황 및 각 작물에 해당하는 각국의 정책을 간략히 소개한다. 옥수수, 카놀라에 해당하는 미국 및 유럽의 정책은 제 3장에서 상세히 다루기로 한다.

■ 전분작물

● 옥수수

옥수수는 액체 바이오연료 원료 중 가장 큰 비중을 차지하고 있다. 옥수수는 다른 식량작물에 비해 생산성이 높으며 단수가 7~11톤/ha이다. 그러나 옥수수를 원료로 한 에탄올의 단수는 3,500리터/ha로 사탕수수 원료 에탄올(6,000리터/ha)에 비해 적은 수준이며, 옥수수의 에탄올 생산비용 또한 통상적으로 사탕수수에 비해 높은 수준이다. 옥수수는 대부분 온대기후지역에서 재배되며 세계 옥수수 생산량의 약 8.4%가 에탄올 원료로 소비된다(2008년 기준). 미국, 캐나다, 유럽에서는 옥수수를 가축사료로 소비하나 그 외 지역에서는 주로 식용으로 소비되기 때문에, 옥수수를 원료로 한 에탄올은

주로 미국에서 생산되며 다른 국가에서는 거의 생산되지 않는다. 최근 수년간 미국 에탄올 산업의 성장 및 세계 에탄올 교역량 증가로 인해 옥수수 수요가 급격히 증가한 결과 세계 옥수수 가격이 상승했으며 이에 따라 재배면적도 증가 추세이다.

• 카사바

카사바(타피오카)는 가뭄저항력이 높고 병충해에도 강한 작물로, 주로 아프리카에서 재배되나 아시아와 남미에서도 재배된다. 나이지리아, 브라질, 태국, 인도네시아 4개국의 생산량이 세계 카사바 생산량의 절반을 차지한다. 이중 카사바 바이오연료산업이 가장 발달한 국가는 태국이다. 태국은 카사바 생산량 중 34%를 칩(chip) 또는 펠렛으로, 49%를 전분으로, 17%를 에탄올로 가공하며, 태국의 에탄올 제조시설 17개 중 5개가 카사바를 원료로 이용한다(다른 제조시설은 사탕수수 당밀을 원료로 함). 태국의 에탄올 원료 소비량은 카사바가 가장 많고 그 다음이 사탕수수이다. 태국에서 카사바는 계절에 상관없이 연중 수시로 재배 및 수확될 수 있을 뿐만 아니라, 건조과정을 거쳐 칩(chip)형태로 가공한 후에도 에탄올 원료로 사용할 수 있으므로, 수확 후 일정 시간이 지나면 당분 함유량이 감소하여 연료로 쓸 수 없게 되는 사탕수수에 비해 장점이 많다. 태국의 카사바 에탄올 생산비용은 0.28~0.33달러/리터로 미국 및 유럽의 에탄올 생산비용보다 낮은 수준이며 휘발유 가격(0.33달러/리터)과 비교해서도 경쟁력이 있는 수준이다. 태국은 현지에 적합한 품종개발을 연구한 결과 2004년 기준 단수가 1995년에 비해 50% 증가한 20톤/ha가 되었다.

이론적으로 카사바의 단수는 최대 90톤/ha까지 가능하나, 통상적으로 옥수수나 대두에 비해 생산성이 떨어지는 농지에서 재배되므로 세계 평균 단수는 9.6톤/ha 수준이다(아프리카지역 단수 7.7톤/ha, 남미지역 단수 12.7톤/ha, 아시아지역 단수 12.9톤/ha). 카사바 단수는 현재 수준보다 증가할 여지가 많기 때문에 향후 에탄올 원료로 부상할 가능성이 높다. 현재 카사바를 원료로 한 에탄올의 단수는 2,070리터/ha이다.

■ 당료작물

• 사탕수수

사탕수수는 남위 30도에서 북위 30도 사이의 열대기후 지역에서 재배되며 당료작물 중 가장 광범위한 지역에서 에탄올 연료로 소비되는 작물이다. 사탕수수를 원료로 한 에탄올은 단위면적당 생산량이 많고 에탄올 생산 과정에서 다수의 부산물이 생산되므로 수익성이 높다. 에탄올의 단위당 생산량에 영향을 미치는 주요인은 사탕수수의 무게, 당분 함량, 사탕수수의 품질이다.

세계 1위의 사탕수수 및 에탄올 생산국은 브라질이다. 사탕수수는 생장과정에서 수분 필요량이 많은데 브라질은 강수량이 충분하여 관개작업을 할 필요가 없으므로 사탕수수 생산량이 연간 5억 1,400만 톤 이상이다. 브라질의 사탕수수 주산지는 상파울루 지역으로, 생육발달기인 여름에는 열대성 기후로 인해 비가 충분히 내리고 건조·수확기인 겨울에는 기후가 서늘하고 건조하여 사탕수수의 재배에 이상적인 조건을 갖추고 있다. 상파울루지역의 사탕수수 단수는 84.7톤/ha이다. 브라질은 1973년 석유파동 이후 원유수입비용이 증가하자 휘발유를 대체할 연료를 개발하기 위해 1975년부터 1989년까지 「전국알콜프로그램(Pro-Alcohol)」을 통해 에탄올 생산을 위한 인프라 구축 및 연구 활동에 대규모 투자를 한 바 있다. 브라질의 사탕수수 가공시설은 421개(2009년 기준)가 운영되고 있으며 총 가공용량은 연간 4억 9,400만 톤인데, 이중 절반은 설탕 원료로 쓰이고 나머지 절반은 에탄올 원료로 쓰인다. 브라질의 경우 사탕수수를 원료로 한 에탄올의 단수는 최대 6,000리터/ha이며, EU의 경우에는 이보다 적은 5,060리터/ha이다. 현재 사탕수수를 원료로 한 에탄올을 가장 많이 생산하는 국가는 브라질이긴 하지만 설탕을 대규모로 수출하고 있는 태국, 과테말라, 호주도 향후 사탕수수 에탄올 생산량이 대폭 증가할 것으로 전망된다.

• 단수수

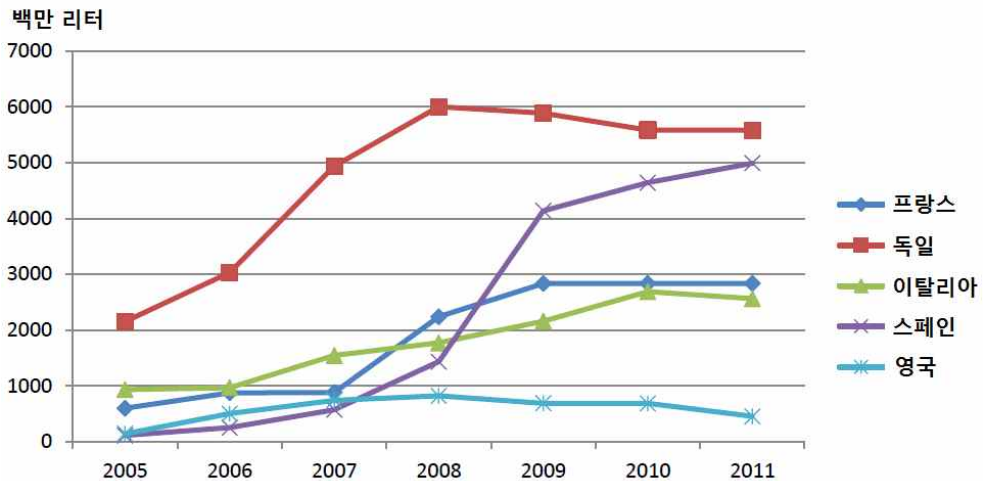
현재 중국, 인도, 미국은 바이오연료 원료에 적합한 단수수(sweet sorghum) 교배종 개발연구에 상당 금액을 투자하고 있다. 단수수는 수수의 변종으로 수수와 겉모양이 거의 같으며 줄기에 10~16%의 당분이 함유되어있다. 단수수는 단위면적당 생산량이

사탕수수에 상응하는 수준으로 많으며, 생육기간이 짧고 노동력의 필요가 적으므로 생산비용이 바이오연료 중 가장 낮은 작물이다. 사탕수수가 많은 수분, 깊은 토양을 필요로 하는 데 반해 수수는 수분이 부족하거나 얇은 토양에서도 잘 자라고 가뭄저항력이 사탕수수보다 클 뿐만 아니라 성장주기가 4개월로 사탕수수(10~12개월)보다 짧다. 수수는 재배면적이 세계에서 다섯 번째로 넓은 곡물이며 북반구와 남반구에서 두루 재배된다. 주생산국은 미국, 나이지리아, 인도이며, 인도와 사하라이남 아프리카에서는 주식으로 소비된다. 수수 바이오에탄올 단수는 1,400리터/ha이며 생산비용은 0.27달러/리터이다.

■ 유지작물

- 카놀라(유채)

그림. EU의 바이오디젤 누적생산용량



자료: IISD

카놀라는 온대지역에서 잘 자라며 단수는 2~4톤/ha까지 가능하나 보통 0.5~2톤/ha 수준이다. 건조된 카놀라의 카놀라유 함유율은 45%이다. 카놀라의 주용도는 조사료, 가축사료, 식물성유지이다. 캐나다, 중국, 인도의 카놀라 생산량이 유럽보다 더 많

지만 EU만 카놀라를 원료로 한 바이오디젤의 생산보조금 및 의무소비량 정책을 시행하고 있다. 세계 바이오디젤 원료 중 카놀라의 비중은 59%나 되는데 이는 바이오디젤 시장을 주도하고 있는 EU에서 카놀라를 광범위하게 재배하고 있기 때문이다. 유럽에서 카놀라 1톤당 평균적으로 바이오디젤 1,200리터가 생산된다.

• 대두

대두유는 세계 바이오디젤 원료 중 카놀라다음으로 큰 비중(25%)을 점하고 있다. 대두는 대부분 온대 및 아열대지역에서 재배되나 열대지역의 재배면적도 증가하고 있는 추세이다. 대두는 아르헨티나와 같이 단작 플랜테이션으로 재배되거나 미국 중서부와 같이 다른 작물과 함께 윤작으로 재배된다. 세계 평균 대두 단수는 약 2.3톤/ha이며 대두유 함유율은 약 17.5%이다. 대두유의 단위면적당 생산량은 열대지역 작물인 팜유에 비해 낮은 편이다. 대두유를 원료로 한 바이오디젤 생산은 미국과 남미지역(아르헨티나, 브라질, 파라과이)에 집중되어 있다. 대두의 최대 생산국은 미국이며, 미국에서 생산되는 바이오디젤 중 79~90%가 대두유를 원료로 한다. 또한 바이오디젤 의무소비 제도를 도입한 브라질, 아르헨티나, 파라과이, 볼리비아에서는 대두유 바이오디젤을 기반으로 정책목표를 달성하려고 하고 있다. 향후 대두유 바이오디젤 생산량이 가장 많이 증가할 것으로 예상되는 국가는 아르헨티나인데, 이는 농지 규모의 확장가능성이 높고 생산비용이 상대적으로 낮기 때문이다. 현재 아르헨티나에서는 전체 농지의 12%(곡물 재배면적의 53%)에서 대두를 재배하고 있다. 대두의 83%가 중부지역(Buenos Aires, Cordoba, Santa Fe)에서 생산되고 있으며 대두 가격의 상승추세로 인해 북동부와 서부지역에서도 재배면적이 증가하는 추세이다. 아르헨티나의 대두 단수는 2.8톤/ha로 세계 최고수준이며 대두유 함유율은 약 18%이다. 아르헨티나의 대두유 바이오디젤 생산단수는 세계 평균 단수보다 대폭 높은 502리터/ha이다.

• 기름야자(팜유)

오일월드(Oil World)에 의하면 기름야자의 팜유 단수는 연평균 3.74톤/ha로 대두유(0.38톤/ha), 해바라기씨유(0.48톤/ha), 카놀라유(0.67톤/ha)에 비해 많은 수준이다.

세계 최대 팜유생산국은 인도네시아와 말레이시아로 두 국가는 세계 팜유의 80% 이상을 생산한다. 세계 바이오디젤 원료 중 팜유의 비중은 10%(2008년 기준)이나 인도네시아와 말레이시아를 중심으로 빠른 속도로 증가하고 있는 추세이다. 이는 현존하는 바이오디젤 원료 중 팜유의 생산성이 가장 높기 때문이다.

말레이시아는 비정제 팜유(Crude Palm Oil)의 약 40%를 바이오디젤 원료로 소비하며, 평균적으로 비정제 팜유 1톤당 바이오디젤 2,500리터가 생산된다. 2007년 말레이시아 정부는 바이오연료 국가정책(National Biofuel Policy) 및 바이오연료산업법(Biofuel Industry Act)을 시행하고 B5(RBD 팜올레인 5%, 디젤 95% 혼합물)의 운송연료 소비를 의무화했다. 또한 바이오디젤 생산시설 건설에 세제혜택을 제공하고 가공 팜유(바이오디젤 포함)의 수출세를 면제한 결과 정책 시행 후 10개 이상의 바이오디젤 생산시설이 건설되었다(총 바이오디젤 생산용량 100만 톤). 말레이시아에서 생산된 바이오디젤은 대부분 유럽과 미국으로 수출된다.

3. 유럽과 미국의 바이오연료 정책

제 2장에서 각 작물에 해당하는 태국, 브라질, 아르헨티나, 말레이시아의 바이오연료 정책을 간략히 소개했다. 제 3장에서는 유럽과 미국을 중심으로 바이오연료 정책의 목적과 과제에 대해 소개한다.

■ 바이오연료 보조정책의 목적

바이오연료 생산량은 수익성에 의해 결정되며, 수익성은 생산비용과 가격에 의해 좌우된다.¹⁾ ‘미국 콘벨트 에탄올공장에서는 가변비용의 90%가 원료인 옥수수 구입비용이라는 연구결과가 있으며²⁾, 따라서 원료 곡물 가격이 상승하면 바이오연료 생산비용이 즉각적으로 상승한다. 표. 바이오연료와 기존연료 생산비용 비교’에 의하면 바이

1) 바이오연료 생산마진 = 바이오연료 가격 + 부산물 가격 - 생산비(원료 곡물 구입비 + 가공과정에서 소요되는 연료비 + 고정비)

2) Federal Reserve Bank of Kansas City(2012), p.5 참조: Hofstrand, 2012 재인용

오연료 생산비용은 EU의 카놀라 바이오디젤 생산비용이 0.87달러/리터로 가장 높고 브라질의 사탕수수 에탄올 생산비용이 0.25달러/리터로 가장 낮는데, 브라질의 사탕수수 에탄올을 제외하면 바이오연료의 생산비용은 기존연료에 비해 높은 수준임을 확인할 수 있다.

표. 바이오연료와 기존연료 생산비용 비교

연료 구분	원료(국가)	생산비용(달러/리터)
바이오디젤	대두유(미국)	0.64
	팜유(말레이시아)	0.52
	카놀라(EU)	0.84
경유(미국)		0.38
에탄올	옥수수(미국)	0.38
	사탕수수(브라질)	0.25
	사탕무(EU)	0.74
휘발유(미국)		0.33

주: 주정백(Distiller's Dried Grain, 에탄올 생산 후 잔류하는 찌꺼기를 건조한 것으로 단백질이 풍부하여 배합사료에서 옥수수 대용품으로 쓰임) 등 부산물의 경제가치를 고려하면 바이오연료 생산비용은 위의 비용에서 최대 20%까지 감소할 수 있다.

자료:FAO

한편 바이오연료의 가격은 휘발유 및 경유 가격과 연관성이 높다. ‘그림. 미국 휘발유와 에탄올 가격 비교’ 에서 휘발유 현물가격과 에탄올 선물가격의 상관관계가 높음을 확인할 수 있다. 2011년 바이오에탄올 도매가격은 2.54달러/갤런으로 휘발유 도매가격인 3.45달러/갤런의 약 2/3수준인데, EIA에 따르면 이는 바이오연료가 기존연료에 비해 에너지 밀도가 낮기 때문이다.³⁾ ‘표. 바이오연료와 기존연료의 밀도 비교’ 에서 바이오에탄올의 에너지 밀도는 64.8%, 바이오디젤의 에너지 밀도는 90.5%이며 원유 1톤의 발열량(1,000만kcal)을 기준으로 표준화한 단위인 석유환산톤 또한 기존연료에 비해 적은 수준이므로, 바이오연료는 기존 연료에 비해 열효율이 낮으므로 같은 부피에 대해 가격이 낮은 것임을 확인할 수 있다⁴⁾.

3) EIA(2013), p.83과 p.181 참조

4) 반면에 기존연료와 같은 열효율을 내기 위해 필요한 바이오연료의 총 구매비용은 기존연료대비 높은 수준이다. IISD(2013)에 의하면 에너지밀도를 고려하여 기존연료와 같은 열효율을 내도록 바이오연료를 구매하게 될 경우, 바이오에탄올의 구매비용은 휘발유에 비해 리터당 0.13유로 비싸고 바이오디젤의 구매비용은 경유에 비해 리터당 0.22유로 비싸다.

표. 바이오연료와 기존연료의 밀도 비교

기존연료	톤	리터		
휘발유	1	1,362		
경유	1	1,195		
바이오연료	톤	리터	석유환산톤(TOE)	에너지밀도(%)
바이오에탄올	1	1,324	0.64	64.8
바이오디젤	1	1,132	0.86	90.5

주: 석유환산톤 - 원유 1톤의 발열량(1,000만kcal)을 기준으로 표준화한 단위.
 자료: IISD

그림. 미국 휘발유와 에탄올 가격 비교



자료: IISD

따라서 바이오연료는 기존연료에 비해 리터당 가격은 낮은 반면 리터당 비용은 높으므로, 정부 개입 없이는 수익성이 낮은 구조임을 알 수 있다. 그러나 각국 정

	유로/리터		유로/리터
에너지함량 환산 바이오에탄올 도매가격	0.85	에너지함량 환산 바이오디젤 도매가격	0.99
휘발유(세전가격)	0.72	경유(세전가격)	0.77

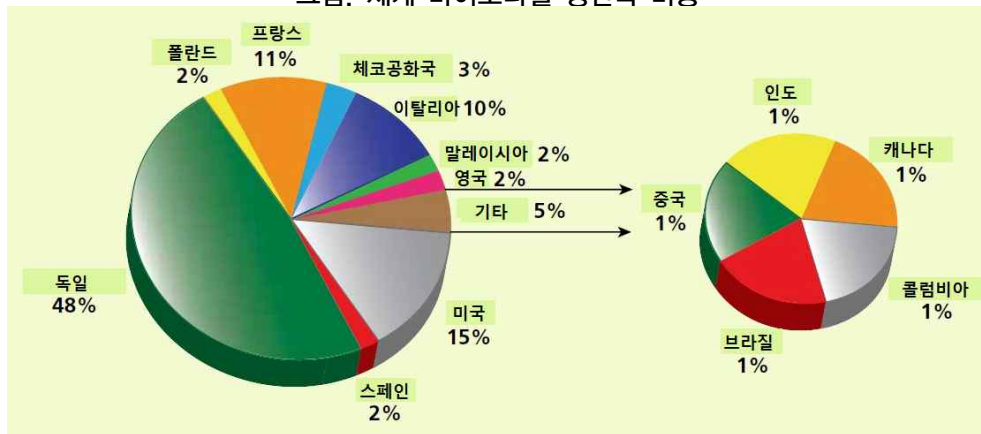
주: 2011년 가격임
 자료: ISSD(2013) p.98 참조.

부는 바이오연료를 ① 에너지 안보 ② 이산화탄소 배출량의 감축 ③ 농촌개발의 정책목표를 달성하는 공공재로 보고 보조금 및 세제혜택을 제공하고 있다. 그 결과 세계 바이오연료용 곡물소비량은 지난 10년간 연평균 23%로 증가했으며, 세계 바이오연료 시장 규모는 2005년의 157억 달러에서 2011년 830억 달러로 급격하게 성장했다. 이러한 성장은 미국의 바이오에탄올 산업과 EU의 바이오디젤 산업이 주도하고 있다.

■ 유럽

유럽은 세계 바이오디젤의 78%를 생산한다(그림. 세계 바이오디젤 생산국 비중 참조). 유럽의 바이오연료 생산시설의 총 설비용량은 바이오디젤 242억 6,500만 리터, 에탄올 84억 5,000만 리터이다(2013년 기준). 이 바이오연료 생산시설에서 원료로 소비하는 식물성유지는 유럽 식물성유지 총생산량의 32%에 해당한다(2011년 기준).

그림. 세계 바이오디젤 생산국 비중



자료: IISD

그림. 유럽 에탄올 및 바이오디젤 생산시설 위치

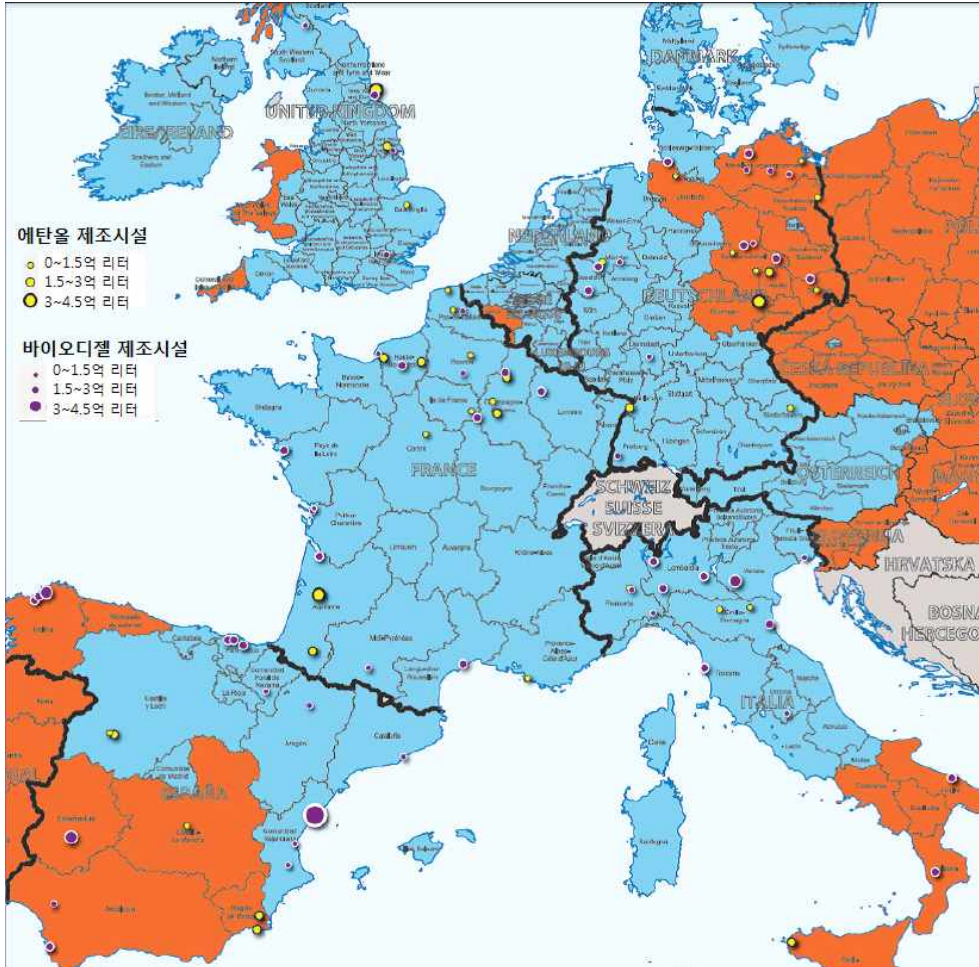


표. EU의 각국 바이오연료 생산시설

국가	생산시설 수	설비용량(백만 리터)	
		바이오디젤	에탄올
프랑스	25	525.26	1,150.00
독일	23	1,779.50	323.00
이탈리아	15	849.00	-
스페인	19	3,012.30	259.40
영국	6	334.17	659.00

자료: IISD

EU는 재생에너지지침(Renewable Energy Directive, 이하 RED, EC2009a), 에너

지과세지침(Energy Taxation Directive, EC2003b), 연료품질관리지침(Fuel Quality Directive, 이하 FQD, EC2009b)을 통해 회원국의 바이오연료 소비를 촉진하고 있다. 2009RED는 2003년 도입되었던 재생에너지지침(EC 2003a)을 수정한 것인데, 2020년까지 전체 에너지 소비량의 20%를 바이오연료로, 특히 차량연료 소비량의 10%를 바이오연료로 충당할 것을 목표로 설정하고 있다. 회원국의 재생에너지 의무 소비량 비중은 현재 소비량 비중, GDP, EC(European Commission)가 각국에 대해 개별적으로 설정한 목표량 등에 따라 국별로 차이가 있다. 그러나 차량연료 소비량의 10% 의무할당목표는 모든 회원국에 대해 공통으로 적용된다. EU는 RED와 FQD를 통해 ‘지속가능성 기준(Sustainability Criteria)’을 도입했는데, 이는 일정기준을 충족한 바이오연료 생산량 및 수입량만 의무할당량을 충족한 것으로 인정한다는 내용이다. 지속가능성 기준에 미달한 바이오연료는 RED, FQD의 목표량을 충족한 것으로 고려하지 않을 뿐만 아니라 재정지원의 대상도 되지 않는다. 지속가능성 기준의 요건은 크게 3가지로 볼 수 있다. 첫째, 휘발유·경유에 비해 바이오연료의 온실가스 저감능력이 35%이상이어야 한다(2017년부터는 50% 이상). 둘째, 생물다양성 보호를 위해 원시림, 자연보호지역, 멸종위기 종(種) 서식지에서 재배된 원료가 아니어야 한다. 셋째, 탄소저감능력이 높은 습지, 삼림 등에서 재배된 원료가 아니어야 한다. EU는 또한 2012년 10월 17일 ‘간접토지이용변화(Indirect Land Use Change, ILUC)’를 제한하는 내용을 담은 RED와 FQD의 개정 초안을 발표했다. ILUC란 바이오연료 원료작물의 재배를 위해 토지이용변화(예: 산림에서 농지로)가 일어나는 것을 의미한다. ILUC 제한을 위해 이 초안에는 식량 및 사료작물을 원료로 하는 바이오연료는 목표량의 5%만 인정하겠다는 제안이 포함되어 있다.

EU국가들이 바이오연료산업에 제공하는 연간 보조금은 110억 달러로 추정되는데(2011년 기준) 이는 동기간 에스토니아와 라트비아 두 국가의 정부지출을 합한 규모(116억 달러)에 상응할 정도로 큰 금액이다. 그러나 바이오연료에 대한 막대한 보조금을 정당화하는 정책목적들의 효과적 달성 여부에 대해서는 논란의 여지가 있다.

첫째, EU에서 생산한 바이오연료가 화석연료 소비량을 대체한 비율은 4%에 불과하므로(2012년 기준), 에너지 안보의 달성 정도는 미미하다.

둘째, 이산화탄소 배출량의 감축 측면을 살펴보면, ILUC를 고려한 결과 바이오에탄올은 CO₂배출량 감축의 효과가 있으나 바이오디젤은 CO₂ 배출량을 감축하는 것이 아

나라 오히려 화석연료보다 더 많이 배출하는 것으로 나타났다. 또한 바이오연료 원료 작물의 총 재배면적이 벨기에의 국토보다 더 넓은 것으로 조사되었으며(2008년 기준) 바이오연료 생산에 소요된 연간 수자원 총량은 세느강과 엘베강의 연평균 유량 총합에 상응하는 수준이었다. 따라서 바이오연료가 이산화탄소 감축을 효과적으로 달성하는 환경 친화적인 수단인가에 대해서는 논란이 지속되고 있다.

셋째, 바이오연료산업은 농촌 일자리를 창출하고 농민소득을 증대하며 소외지역의 경제활동을 활성화할 것으로 기대되었으나, EU에서 바이오에탄올 및 바이오디젤로 인해 창출된 일자리 중 각각 31%와 35%만 농촌에서 발생했고 대부분의 일자리는 오히려 도심지역에서 발생했다. 바이오연료 원료의 수요 증가로 인해 작물가격이 상승함으로써 작물을 재배하는 농민의 소득이 증대한 효과는 있으나, 축산 및 낙농업계는 사료비용 상승으로 부담이 커지게 되었다. 또한 식량가격 인상으로 인해 EU의 소비자들은 연간 1~36억 유로의 비용을 더 많이 지불해야 했다(2011/10년 기준). 따라서 바이오연료가 다른 정책수단에 비해 농촌개발을 효과적으로 달성하는가에 대한 논란도 지속되고 있다.

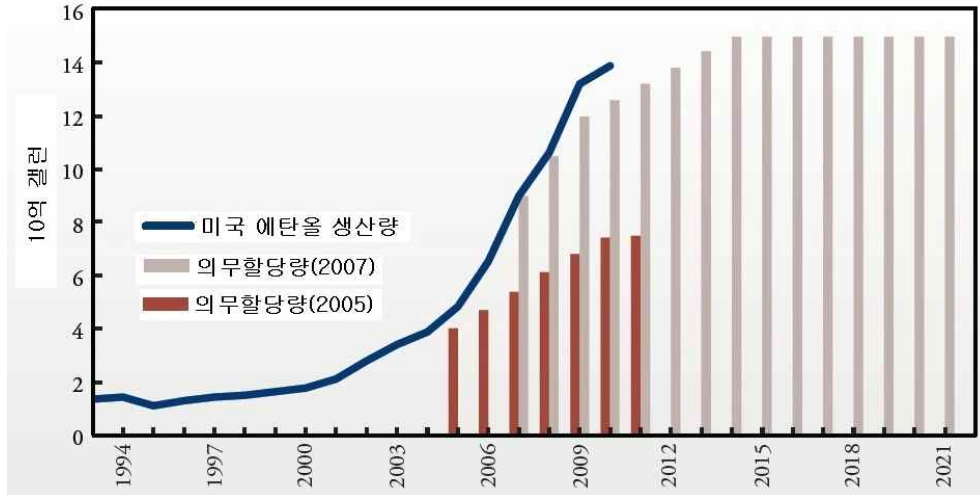
■ 미국

미국은 세계 1위의 바이오에탄올 생산국이며 연간 세계 바이오에탄올 생산량의 2/3에 해당하는 850억 리터를 생산한다. 미국은 2005년 재생연료의무할당제(Renewable Fuels Standard, RFS)를 도입하여 2012년까지 75억 갤런의 의무할당량을 설정했다. RFS 실시 이후 에탄올 생산량은 연간 30%씩 증가했으며, 2011년 에탄올 생산량은 139억 갤런으로 RFS 의무할당량인 126억 갤런을 초과하여 10억 갤런 이상이 수출되었다.

RFS는 2007년 개정되어 2015년까지 최고 150억 갤런의 할당량이 설정되었다. RFS는 환경보호국(Environment Protection Agency)이 집행하며, 38자리 수의 코드 형태인 RINs(Renewable Identification Number, 재생연료식별번호)를 통해 의무소비량 만큼의 연료혼합 준수를 확인한다. 에탄올 생산량 또는 수입량 1갤런마다 1RIN이 발급되며, RIN은 발급일로부터 1년 뒤까지 유효하다. 그리고 전체 의무할당량의 20%까지 전년에 발급된 RIN을 사용해 충족할 수 있다. 휘발유를 생산하거나 수입

하는 업체는 의무할당량만큼 에탄올을 혼합하거나 또는 RIN을 구매하여 RFS를 준수한다.

그림. 미국 에탄올 의무할당량과 생산량



자료: Federal Reserve Bank of Kansas City

이와 같은 미국의 바이오연료 지원정책은 다음과 같은 과제를 안고 있다.

첫째, 미국 바이오연료 생산량 증가로 인해 곡물, 특히 옥수수 가격이 상승하는 문제가 있다. 미국 옥수수 총생산량의 40%가 에탄올 원료로 소비되는데, 2008년 옥수수 가격이 부셸당 2.5달러에서 5달러 이상으로 상승한 현상이 이와 같은 산업용 옥수수의 수요 증가에 기인한다는 분석이 있다.

둘째, 에너지 안보 기여도가 불확실하다는 문제가 있다. 미국 현재 미국의 바이오연료(에탄올, 바이오디젤) 생산량은 전체 미국 차량용 연료 소비량의 약 5%에 해당하며, 에탄올 총 생산량은 발열량 기준 휘발유 소비량의 2%에 불과하다. 미국 옥수수 생산량 전체를 에탄올 원료로 소비한다고 가정하더라도 휘발유 소비량의 16.7%에 불과하다는 분석이 도출되었다.

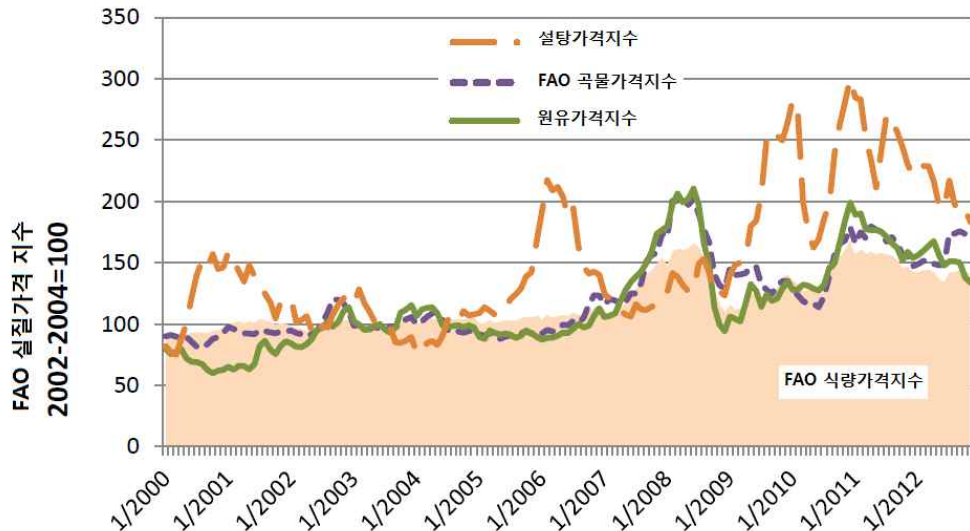
셋째, 옥수수 에탄올의 CO2 저감능력이 다른 원료에 비해 미미한 수준이라는 문제가 있다. 옥수수 에탄올의 CO2 저감능력은 1마일당 10~20%, 생애주기법(LCA)을 적용할 경우 3%에 불과한 것으로 추정되고 있다. 반면에 사탕수수 에탄올의 경우 1마일

당 최대 90%까지 저감이 가능하며 생애주기법을 적용하더라도 50%의 저감능력이 있다.

4. 바이오연료산업이 곡물가격에 미친 영향

FAO가 2011년 발표한 「식량가격 및 농산물시장 변동성(Price Volatility in Food and Agricultural Markets)」 보고서에 따르면, 바이오연료의 의무할당소비목표와 같은 정책적 전인에 의해 곡물의 수요가격 비탄력성이 증가했다. 즉 식량가격의 상승추세와 농산물시장의 변동성 증가는 각국의 바이오연료 정책에 기인한 측면이 있다. 이는 의무할당에 의한 바이오연료 및 그 원료인 곡물의 소비가 가격변화에 무관하게 정해지기 때문이다. 이하 그림에서 2006년~2008년 미국, 유럽 등의 바이오연료 의무소비정책이 도입되면서 이로 인해 바이오연료 생산량이 급증했던 동 시기에 식량가격 또한 상승한 것을 확인할 수 있다. 또한 바이오연료는 원유가격과의 상관관계가 높으므로, 바이오연료 정책 도입 이후 원유가격과 곡물 및 식량가격의 상관관계가 이전에 비해 높아진 것도 확인할 수 있다. 이는 곡물가격 변동성을 유발하는 변수가 추가됨을 의미한다.

그림. 원유가격과 식량, 곡물, 설탕 실질가격 비교



자료: IISD

참고문헌

- Energy Information Administration(2012,12), Biofuels Issues and Trends
- Energy Information Administration(2013), Annual Energy Outlook 2013
- International Institute for Sustainable Development(2013.4), Biofuels—At
What Cost? A review of costs and benefits of EU biofuel policies
- Federal Reserve Bank of Kansas City(2012), Markets, Not Mandates, Shape
Ethanol Production, Main Street Economist Issue V.
- FAO(2013,2), Biofuels and the Sustainability Challenge: A Global Assessment
of Sustainability Issues, Trends and Policies for Biofuels and
Related Feedstocks