

바이오매스와 바이오에너지

- 바이오매스 잠재량 추정 및 세계 바이오에너지 이용 현황 및 전망 -

Biomass and Bioenergy:

- Potential Estimation and Current Status and Outlook -

홍 은 미* 최 진 용**

Hong, Eun Mi · Choi, Jin Yong

1. 바이오에너지의 필요성

산업혁명 이후 전 세계적으로 석탄, 석유 등 광물 에너지를 과다하게 사용하고 있으며, 우리나라 역시 총 에너지 소비량 170,854 천 TOE 중 석탄 22,659 천 TOE, 석유 96,891 천 TOE 로 광물 에너지 사용량이 전체 에너지 사용량의 약 70 %를 차지하고 있다<에너지관리공단, 2006>. 하지만 최근 광물 에너지의 연료에 함유된 기타 불순물에 의한 CO₂ 배출 및 온실효과, 광화학스모그, 오존층파괴, 토양오염 등 환경 오염 문제와 함께 매장량이 한계에 도달했다는 문제가 제기되고 있다. 또한 원자력 발전을 포함하여 약 96.8 %의 에너지를 수입에 의존하고 있는 우리나라의 경우, 최근 유가의 불안정, 기후 변화협약의 규제 등으로 인해 국가적 에너지 위기 문제가 발생하고 있으며 이에 대비하기 위하여 친환경적이며 지속적으로 사용 가능한 대체 에너지 개발과 보급이 시급하다. 최근 광물 에너지의 대체 에너지로 거론되는 것으로 태양열,

태양광, 풍력 그리고 바이오에너지(Bioenergy) 등이 있다. 특히 바이오매스(Biomass)를 원료로 사용하는 바이오에너지는 광물 에너지와는 달리 재생성을 가지며 원료의 고갈 가능성 역시 낮다. 또한 바이오에너지는 광물 에너지에 비해 공해 물질을 현저하게 적게 배출하며, 교토 협약에 의한 CO₂ 배출을 규제하는 국제 사회에서 “CO₂ neutral” 에너지로 인정받고 있다<그림 1>. 그리고 타 대체 에너지들과 달리 바이오에너지는 열, 전기뿐 아니라 연료의 형태로도 활용 가능하며 언제든지 사용할 수 있어 광물 에너지의 실질적 대체 에너지라고 말할 수 있다.

본 소고에서는 미래의 대체 에너지로 각광 받고 있는 바이오에너지와 바이오에너지의 원료가 되는 바이오매스에 대해 알아보고, 바이오매스를 추정하는 여러 방법에 대하여 살펴보았다. 그리고 현재 세계 각국 및 국내에서 바이오에너지가 어떻게 이용되고 있으며 미래의 에너지로 어떻게 활용될 지에 대하여 전망해 보았다.

* 서울대학교 지역시스템공학부 석사과정 (silbern7@snu.ac.kr)

** 서울대학교 농업생명과학대학 지역시스템공학전공 조교수 (iamchoi@snu.ac.kr)

2. 바이오매스와 바이오에너지

가. 바이오매스 및 바이오에너지의 정의

바이오매스(Biomass)는 살아있는 동·식·미생물의 유기물을 의미하지만, 산업계에서는 유기계 폐기물도 바이오매스에 포함한다. 동·식물과 그로부터 파생된 모든 물질, 한마디로 썩을 수 있는 물질을 모두 바이오매스라 정의할 수 있다. 바이오매스는 크게 사람이 식량으로 사용할 수 있는 당질·전분계 바이오매스(예: 사탕수수, 고구마, 옥수수 등)와 식량으로 사용할 수 없는 셀룰로오스계 바이오매스(예: 나무 폐기물 등) 두 가지로 분류한다.

바이오에너지(Bioenergy)는 바이오매스를 원료로 추출, 당화, 가스화, 연소 등의 다양한 기술을 이용하여 에탄올과 디젤 등으로 전환하여 휘발유, 경유 등 광물에너지를 대신하여 사용할 수 있는 새로운 식물성 에너지를 말한다(그림 2). 바이오에너지는 크게 바이오디젤, 바이오에탄올 그리고 기타 바이오에너지(바이오가스, 식물유,

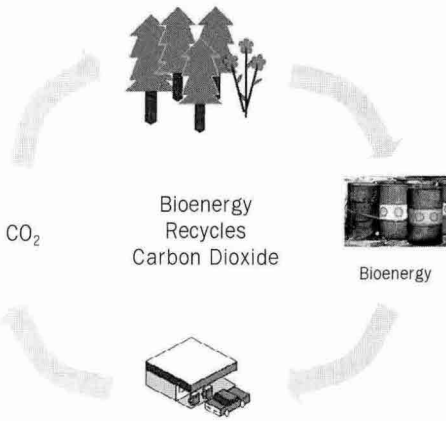


그림 1. 바이오에너지 CO₂ 순환 개념도¹⁾

바이오메탄, 바이오수소 등)로 구분 할 수 있다.

바이오에탄올은 옥수수나 사탕수수, 보리, 밀 등의 곡물자원을 원료로 하여 가솔린에 첨가하거나 대체연료로 사용하는 새로운 에너지다. 바이오에탄올은 가솔린과 혼합하여 사용하면 가솔린만을 에너지로 사용하는 것보다 옥탄가를 높이며, 산소를 공급시켜 연비를 증진시키고, CO₂ 등 유해환경물질 배출을 억제한다. 그리고 기술개발에 따라 대부분의 곡물자원으로 바이오에탄올을 제조할 수 있지만, 다른 곡물자원은 옥수수나 사탕수수에 비하여 경제성이 떨어져 현재 90% 이상의 바이오에탄올이 옥수수나 사탕수수에 의해 생산된다(김이식, 2004).

바이오디젤은 식물성기름, 동물성지방, 식용유 등을 이용하여 촉매를 첨가하여 생성하는 에너지로써 일반 경유와 물성이 유사하여 경유와 혼합하여 디젤엔진에 사용되며, 미래의 대체에너지로 각광 받고 있는 친환경 연료이다. 또한 경유와 물리화학적 성질이 비슷하여 기존 경유 차량을 개조하지 않고 그대로 사용 가능하며, 에너지 자원의 고갈문

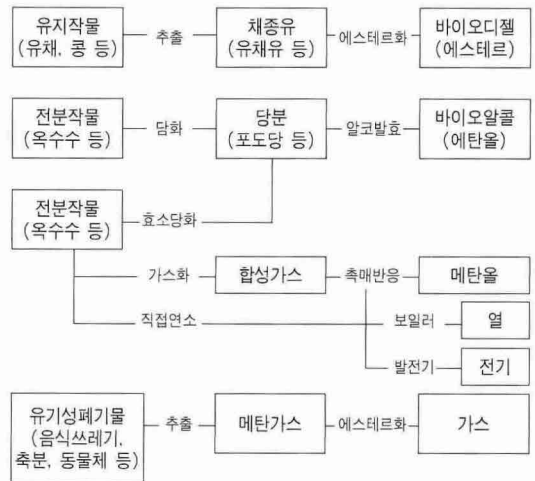


그림 2. 바이오에너지 종류 및 용도 (에너지관리공단)

1) 바이오에너지를 사용함으로써 발생한 만큼의 CO₂는 바이오매스 성장과정에서 광합성에 의해 대기로부터 흡수된다 (한국에너지기술연구원).

제가 없고 특히 폐식용유 등을 이용하여도 생산할 수 있는 에너지다(Joel K, 2007; 김이식, 2004).

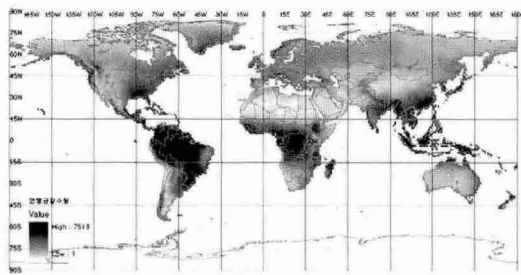
나. 바이오매스 잠재량 추정

바이오매스의 잠재량 및 분포정도는 생태학적인 조건 및 기상학적 조건에 영향을 받는다. 특히 작물 및 산림 바이오매스의 경우 기온, 강수량, 일조시간, 증발산량, 작물의 생육기간, 토양종류 등에 영향을 받게 된다. 그림 3은 전 세계의 연평균 강수량, 연평균 잠재증발산량(Penman-Monteith), 연평균 적산온도 그리고 작물의 생육기간이다.

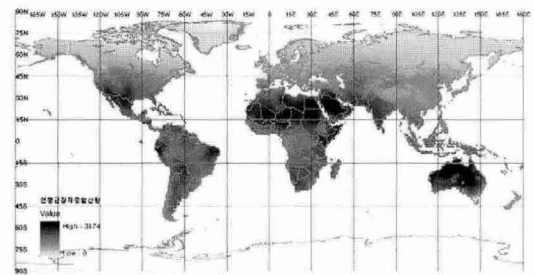
현재 바이오매스 잠재량 추정방법에는 우선, 잠재량을 바이오매스 재배지에 대한 실측 및 경험을 바탕으로 계산한 방법이 있다. 우리나라의 경우 농업부산물 바이오매스 잠재량을 단위 발생량, 원소조성비, 단위중량당 발열량 등의 자료를 실측, 수집 및 분석하여 농촌지역에서의

바이오매스 잠재량을 추정하는 연구가 진행되바 있다(홍성구, 2004). 그리고 한국 에너지기술 연구원에서는 농부산물의 경우 작물통계 및 작물 재배면적을 이용하여 잠재량을 산정하였고, 임목 바이오매스의 경우 산림 기본 통계 조사 결과를 이용하여 건량환산계수를 적용하여 임목 바이오매스를 추정하였다. 또한 NREL(2005)에서는 FAO, USDA에서 실측, 분석한 작물별 건조중량, 작물과 잔여물의 비 등의 자료를 이용하여 바이오매스 잠재량을 추정하였다(그림 4).

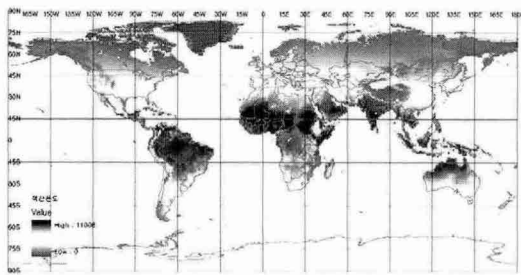
또한 바이오매스 잠재량은 수확률을 생산성에 영향을 주는 변수(기후, 증발산량, 토양의 타입 등)의 함수로 구성하여 추정하거나, 위성영상자료를 이용하여 추정할 수 있다. Elmore등(2007)은 MODIS 영상으로부터 추출한 NDVI와 Landsat ETM영상을 이용하여 만든 토지피복도로부터 농업잔여물을 산출하고 중국의 바이오매스 잠재량을 추정하였으며, Fischer 등(2005)은



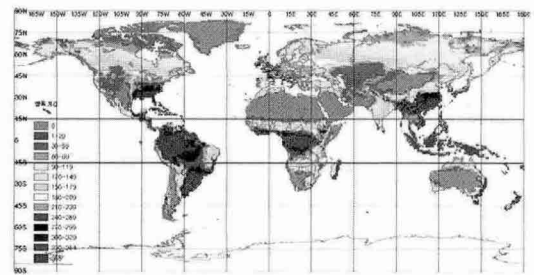
(a) 연 평균 강수량



(b) 연평균 잠재증발산량 (Penman-Monteith)



(c) 적산온도 (Tmean > 0°C)



(d) 작물의 생육기간

그림 3. FAO에서 바이오매스 추정에 사용한 기상학적 조건 (FAO, 2000)

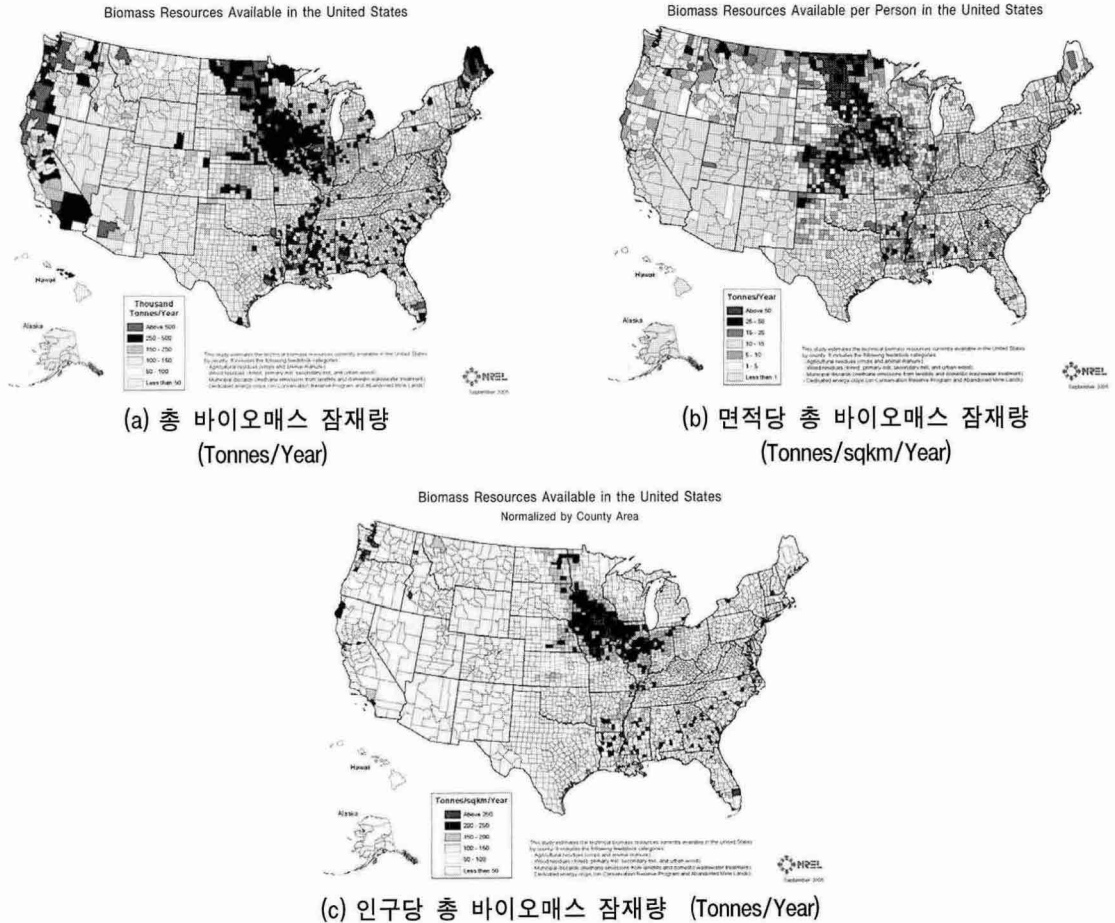


그림 4. NREL(2005)에서 추정한 총 바이오매스 잠재량

기후, 토양, 작물 피복 등의 GIS 자료를 통해 동유럽, 북아시아 및 중앙아시아 지역의 세 가지 수종을 추출해내고 이를 통해 바이오매스 잠재량을 분석하였다.

3. 세계 바이오에너지 현황 및 전망

가. 국외 개발 현황 및 전망

1.과 2.에서 설명한바와 같이 다양한 자원과 이용기술을 가지고 있는 바이오에너지는 자국의 실정에 맞게 개발·이용되고 있다. 표 1은

주요 국가들의 에너지소비량 중 바이오에너지가 차지하는 비율을 광물에너지단위로 환산한 것을 나타낸 것이다.

표 1에서 볼 수 있듯이 대부분 국가에서의 총 에너지이용량 가운데 바이오에너지가 차지하는 비율은 증가하고 있으며, 핀란드의 경우 총 에너지 이용 가운데 약 20%를 바이오에너지에 의존함을 알 수 있다.

그리고 국가별 바이오에너지 이용 현황 및 계획을 자세히 보면, 미국의 경우 옥수수를 원료로 하여 900여만 톤의 바이오에탄올을 생산하여 사용하고 있으며, 1999년 대통령령으로 “바이오연료/

표 1. 주요 국가의 바이오에너지 소비량 및 소비율(OECD, 2007)

국가명	1995년			2000년			2005년		
	바이오 에너지	총 1차 에너지	비율	바이오 에너지	총 1차 에너지	비율	바이오 에너지	총 1차 에너지	비율
	(Mtoe/year)		(%)	(Mtoe/year)		(%)	(Mtoe/year)		(%)
미국	61.0	2090.0	2.9	60.9	2306.6	2.6	64.4	2340.3	2.8
일본	4.6	499.1	0.9	4.7	527.6	0.9	4.7	530.5	0.9
호주	4.1	94.4	4.3	4.9	110.5	4.4	5.1	122.0	4.2
캐나다	9.8	231.4	4.2	11.5	249.2	4.6	12.5	272.0	4.6
영국	1.2	223.4	0.6	1.5	233.9	0.6	2.8	233.9	1.2
스위스	0.6	25.0	2.4	0.6	26.2	2.1	0.8	27.2	2.9
덴마크	0.9	20.0	4.4	1.0	19.4	5.3	1.7	19.6	8.7
핀란드	5.0	29.6	16.9	6.4	33.0	19.5	6.6	35.0	19.0
오스트리아	2.6	27.2	9.5	2.8	29.0	9.7	3.5	34.4	10.1

화학원료 개발 촉진”을 선언하고 2010년까지 바이오에너지 공급을 3배로 확충하는 목표를 가지고 있다. 그리고 목표를 달성하기 위하여 목질계 알콜 연료를 바이오매스 가스로 발전시키는 연구와 함께 에너지 작물 재배(옥수수, 콩 등)기반을 확대 확충하고 있다. EU는 현재 이미 상당히 발전되어있는 바이오에너지 기술의 보급 확대가 이루어지고 있으며 온실가스 저감 차원에서 기술개발과 보급이 확대되고 있는 추세이다. 그리고 EU 역시 2010년 까지 바이오에너지 공급을 3배로 확충시켜 총 에너지사용량의 약 9% 까지 바이오에너지를 사용한다는 목표를 가지고 있다. 그리고 중국은 현재 농부산물을 바이오매스 가스화에 이용하고 있으며, 일본은 도시쓰레기 소각열 발전을 통해 바이오메탄올을 생산 이용하고 있다. 스웨덴, 캐나다, 브라질은 미국과 함께 목질계 에탄올 기술개발을 협력하고 있으며, 특히 브라질은 판매되는 자동차의 약 85%가 휘발유와 바이오에탄올을 혼합 사용하는 플렉스 자동차로써 옥수수를 이용한 바이오에탄올 생산·이용이 활발하다(Joel K, 2007; 에너지관리공단 신·재생에너지센터).

나. 국내 개발 현황 및 전망

국내에서는 1990년대 말 바이오에탄올, 메탄가스화 기술개발 위주로 연구가 진행되었다. 표 2는 국내 바이오에너지 소비량 및 소비율을 나타낸 것이다. 국내에서의 바이오에너지는 총 에너지 이용량 가운데 약 3%정도 이용되고 있음을 알 수 있다.

국내에서는 70년대부터 바이오에너지에 대한 연구는 진행되었지만 관심정도는 미비하였다. 2002년부터 환경부와 산업자원부에서 바이오디젤을 대체에너지에 포함시켜 경유에 바이오디젤을 사용할 경우 특소세를 면제하도록 하여 바이오디젤에 대한 관심이 증가하기 시작하였다. 그리고 바이오디젤의 원료인 유채재배로 인한 소득증대 및 휴경지 활용을 위한 노력도 증가하고 있으며, 유채를 이용한 바이오디젤 생산과 판매가 성공하게 되면 겨울철 이모작을 통한 농가소득 개발 및 친환경 에너지 확보에 기여할 것으로 예상된다. 또한 1.0% 미만인 바이오디젤 이용을 2010년까지 12% 까지 보급 및 확대를 추진 중에 있다(김이식, 2004; 에너지관리공단 신·재생에너지센터).

표 2. 우리나라의 바이오에너지 소비량 및 소비율 (OECD, 2007)

1995년			2000년			2005년		
바이오 에너지	총 1차 에너지	비율	바이오 에너지	총 1차 에너지	비율	바이오 에너지	총 1차 에너지	비율
(Mtoe/year)		(%)	(Mtoe/year)		(%)	(Mtoe/year)		(%)
61.0	2090.0	2.9	60.9	2306.6	2.6	64.4	2340.3	2.8

4. 맺는말

본 소고에서는 바이오에너지의 개념과 종류 그리고 바이오에너지의 원료인 바이오매스의 잠재량 추정방법과 함께 국내·외 바이오에너지 현황 및 전망에 대하여 간단히 살펴보았다. 현재 미국, 브라질, EU 국가들이 곡물, 유지작물 등의 바이오매스를 이용하여 바이오에너지를 개발, 생산 및 이용하고 있으며, 중국, 인도 등 아시아 국가에서도 곡물자원을 이용하여 바이오에너지를 생산하고 있다. 그리고 최근 고유가에 의한 에너지 비용의 증가와 환경 문제 그리고 교토 협약에 의한 온실가스 배출 규제 등으로 인한 바이오에너지 생산과 바이오에너지의 원료가 되는 바이오매스에 대한 관심은 점차 증가될 것으로 예상된다. 하지만 바이오에너지는 주로 옥수수 등 사람이 먹을 수 있는 곡물을 원료로 하기 때문에 식량안보를 위협하고 식량 가격 상승의 원인이 될 수 있다는 우려의 목소리도 나오고 있다. 최근 국내에서도 다양한 바이오매스를 이용한 바이오에너지 생산 및 이용에 대한 관심이 고조되고 있다. 바이오에너지가 미래의 대체에너지로 각광받는 이 시점에서 바이오에너지에 대한 관심이 단지 에너지를 생산하는 것에만 그치지 않고 이에 따르는 문제점을 함께 고민하고 해결하며 식량안보문제와의 갈등도 최소화하고 더 나아가 지속가능한 바이오에너지를 생산해야 할 것이다.

참고문헌

1. 김이식, 2004, 세계 바이오에너지 생산과 시사점, CEO Focus 제 146호.
2. 에너지관리공단 신·재생에너지센터, <http://www.energy.or.kr>, accessed at 2007. 12.
3. 이진석, 2004, 바이오매스 에너지기술의 현황과 전망, 가스연맹 2004 겨울호, pp.50-57.
4. 한국에너지기술연구원, <http://www.kier.re.kr>, accessed at 2007. 12.
5. 홍성구, 2004, 농업 부산물 바이오매스 자원의 부존 특성 조사-과수원 및 발작물 부산물을 중심으로-, 한국농공학회지, 제 36권 제 3호, pp.85-92.
6. Andrew J. Elmore, Xun Shi, Nathaniel J. Gorence, Xia Li, Haiming Jin, Fang Wang, Xiaohao Zhang, 2007, Spatial distribution of agricultural residue from rice for potential biofuel production in China, Biomass & Bioenergy, Available online 6 August 2007.
7. FAO, 2000, Global Agro-ecological Assessment for Agriculture in the 21st Century: Methodology and Results, Günther Fischer, Harrij van Velthuizen, Mahendra Shah, Freddy Nachtergaele, Rome, Italy.
8. FAO, 2000, Global Agro-Ecological Zones, CD-ROM, IIASA, Rome, Italy, (<http://www.fao.org/landandwater/agil/gaez/index.htm>), accessed at 2007. 12.
9. Gunther Fischer, 2004, Biomass potentials of miscanthus, willow and poplar: results and policy implications for Eastern Europe, Northern and Central Asia, Biomass and Bioenergy Volume 28, Issue 2, pp.119-132.
10. Joel K. Bourne, Jr, 2007, Producing fuel from corn and other crops could be good for the planet-if only the process didn't take a significant environmental toll. New breakthroughs could make a difference, National Geographic OCTOBER 2007.
11. NREL, 2005, A Geographic Perspective on the Current Biomass Resource Availability in the United States, A. Milbrandt, Colorado, USA.
12. OECD, 2007, Energy Balances of OECD Countries 2004-2005, 2007 Edition.