

연구 자료

바이오매스 이용의 사회경제적 유용성*

강 창 용** 박 현 태**

Keywords

바이오매스(biomass), 바이오에너지(bioenergy), 바이오연료(biofuel), 바이오디젤(biodiesel), 교토의정서(Kyoto Protocol), 대체에너지(alternative energy)

ABSTRACT

Biomass is a renewable resource which implies that it is part of the flow of resources occurring naturally and repeatedly in the environment. The broad spectrum of natural vegetation in its diverse forms and residual deposits from human and animal activities constitute the major sources of biomass.

Biomass is the single most important source of energy. It is known that developing countries as a whole derive 35% of their energy from biomass. Those are virtually dependent on biomass for their cooking, heating and lighting.

The objective of this study is to grasp the fundamental notions of biomass and the meanings in human activities according to biomass using. And the basic conditions for biomass use promotion are studied.

차례

- | | |
|--------------------|--------------------|
| 1. 머리말 | 4. 바이오매스 이용의 유용성 |
| 2. 바이오매스의 개념과 이용형태 | 5. 바이오매스 이용 시 검토사항 |
| 3. 바이오에너지의 획득방법 | 6. 맺음말 |

* 이 자료는 2006년도에 수행한 「농업부문 바이오매스의 이용활성화를 위한 정책방향과 전략 (1/2차 연도)」 연구보고서의 내용 중 일부를 발췌하여 정리한 것임.

** 한국농촌경제연구원 연구위원

1. 머리말

산업혁명 이후 경제발전과 산업화의 진전에 의해 석탄, 석유와 같은 화석자원에 의존하는 사회가 되면서 대량생산·소비·폐기 시스템이 정착되었다. 이로 인해 지구환경에 대한 오염이 증가하면서 지구온난화, 각종 유해물질의 증가 등과 같은 환경문제가 국가적인 차원을 넘어 중요한 국제적 현안으로 대두 되었다. 본질적으로 화석연료의 부존 자원량이 한정되어 있어 여기에 대처하고, 지구온난화 방지라는 국제적인 문제를 해결해야 하는 명제 아래에서 재생 가능한 에너지 개발과 제품의 사용은 국가에 관계없이 모두 선결해야 할 과제로 떠오른 지 오래이다. 특히 에너지의 대외 의존도가 절대적인 우리나라의 경우에는 그 정도가 심각하다.

1970년대 두 차례의 세계 석유파동(Oil Shock)이 일어났을 때 우리나라를 포함한 많은 나라에서 대체에너지, 나아가 재생 가능하고 환경에 부담이 적은 에너지와 제품개발에 노력을 기울인 경험들이 있었으나 이후 저렴한 화석연료의 안정적 공

급으로 이러한 주의와 관심은 거의 사라져 왔다. 그러나 2000년대에 들어오면서 지구온난화 방지를 위한 화석연료 대체, 재생가능 에너지와 제품의 개발이라는 측면에서 바이오매스(Biomass)의 개발과 이용이 중시되어오고 있다. 즉 자연 순환적인 시스템의 구축을 통해 각종폐기물과 잔유물질 등을 처리하고 이를 통해 순환 사회의 구축, 나아가 환경적으로 건전한 농업과 농촌 구현이라는 목표의 실현 등을 위해 바이오매스에 대한 관심이 고조되고 있다. 우리와 달리 이미 유럽과 미국, 일본 등 선진국들은 수십 년에 걸쳐 이 부분에 대한 연구, 개발에 투자를 아끼지 않아 왔으며, 그로 인한 각종 결과물, 예컨대 에너지와 제품들을 현실에서 이용하고 있다.

이 연구는 최근 부각되고 있는 바이오매스에 대한 개념과 바이오매스 이용이 인간의 사회경제적인 활동에서 갖는 의미를 찾아보고, 바이오매스의 이용을 활성화하기 위한 기본조건을 검토하는데 그 목적이 있다.

2. 바이오매스의 개념과 이용형태

바이오매스(Biomass)란 에너지원과 자원으로서의 생물체를 의미하는 것으로 나무, 곡물, 식물, 가축분뇨, 농작물과 각종 음식물 쓰레기 등을 의미한다. 지구상에

¹ 일반적으로 채굴 가능한 석유매장량은 약 3조 배럴, 이미 8천억 배럴을 사용했기에 나머지는 2조 2천억 배럴인데, 이 중 1억 배럴정도가 확인된 이용가능 매장량이라 한다. 이 경우 연간 3백억 배럴을 사용하면 앞으로 40년 이내에 심각한 석유부족문제, 제3의 석유파동에 봉착할 가능성이 대단히 높다.

서 1년간 발생하는 양(약 1,550억 ton)은 석유의 매장량과 비슷한 수준으로 추정하고 있다. 바이오매스는 에탄올, 메탄올(액체연료)과 수소(기체연료) 등과 같은 바이오연료(Biofuel)를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 보드, 목탄 등의 제품을 만드는 데 활용할 수 있는 자원이다.

바이오매스는 다양한 용도 만큼이나 분류 또한 다양하다. 원료의 종류에 따라 ① 전분질계 자원: 곡물, 감자류 등, ② 셀룰로오스계 자원: 초본, 임목과 벚짚, 왕겨 등 농부산물, ③ 당질계 자원: 사탕수수, 사탕무 등, ④ 동물 단백질계 자원: 가축분뇨,

사체, 미생물 균체 등으로 분류할 수 있다.

용도에 따라서는 ① 에너지(바이오 에탄올, 바이오 디젤, 바이오 가스, 메탄올, 직접연소 열과 전기생산)와 ② 각종제품 등으로 분류할 수 있다(표1).

발생지를 중심으로 보면, ① 도시계 폐기물: 생활쓰레기, 식품잔사, 폐식유, 하수오니, 펄프폐액, 건설폐자재 등, ② 농촌계 폐기물: 농업폐기물(왕겨, 짚 등), 축산폐기물(축산분뇨, 가공잔사 등), 임업폐기물(폐목, 톱밥 등), ③ 미이용자원: 간벌재, 임지잔재 등으로 분류된다.

통상적으로 ① 각종 부산·폐기물: 짚,

표 1. 바이오매스의 종류와 이용형태

분 류	변환 후 형태	주된 용도	이용가능 바이오매스
에너지 이용	직접연소(합성 가스, 열분해)	장작, chip, pellet, briquet	발전·열원용 연료
	가스화	메탄	발전·열원용 연료
	액체화	바이오디젤	디젤차연료
		에탄올	자동차연료
		메탄올	발전·열원용 연료, 연료전지연료
제품 이용	비료	퇴비	퇴비로 이용
	사료	사료	가축·양어용 사료 이용
	공업용 원료	플라스틱	식품접시, 농림수산물 자재
		재생목질보드	가구, 합판(床下地)
	기능성식품원 재료	DHA, EPA	영양제

왕겨, 겨, 간벌재, 숲 가꾸기 시 소경목, 잔재, 톱밥이나 각종 폐가구와 건설폐목재, 음식물 쓰레기, 폐식용유, 가축배설물, 슬러리, 각종 유기성 폐기물 등, ② 바이오매스작물: 단기순환목(Short-rotation crops: 버드나무, 포플러), 정기벌채목(coppice), 초본식물(miscanthus), 각종 유지식물, 옥수수과 사탕수수(무), 감자 등, ③미이용물: 휴경지나 야산 등에 방치되어 있는 유기성 자원 등이 바이오매스에 해당된다.

특히 에너지 생산에 한정할 경우, FAO에 의한 바이오연료의 3가지 구분,

즉 목질연료와 농업연료, 그리고 도시부산물로의 분류가 일반적이라 할 수 있다(표2).

3. 바이오에너지의 획득방법

바이오매스로부터 에너지와 제품을 얻을 수 있는데, 종류와 원료가 다양하다 보니 얻는 방법도 다양하다. 특히 바이오매스로부터 에너지형태로의 전환은 화학적

표 2. FAO의 바이오연료 분류

생산측: 공급	일반 그룹	이용측: 수요
직접연료목(Direct woodfuels)	목질연료 (Woodfuels)	고형(Solid): 연료목(원목, 칩, 톱밥, 펠릿), 목탄
간접연료목(Indirect woodfuels) ¹⁾		액체(Liquid): 흑유(Black liquor), 메탄올, pyrolytic oil
회수연료목(Recovered woodfuels)		가스(Gas): 가스화로부터의 산물, 위 연료로부터의 pyrolysis 가스
목질이용연료(Wood-based fuels) ²⁾	농업연료 (Agrofuels)	고형: 짚, 줄기, 껍질(husks), bagasse, 위 바이오연료로부터의 목탄
연료작물(Fuel crops)		액체: 에탄올, 채원유, oil diester, 메탄올, pyrolytic oil from solid agrofuels
농업부산물(Agri. by-products)		가스: 바이오가스, producer gas, pyrolysis gases from agrofuels
동물부산물(Animal by-products)		고형: 도시고형폐기물
농산업부산물(Agro-industrial by-product)	도시부산물 (Municipal by-products)	액체: 오폐수 슬러지, pyrolytic oil from municipal by-product
도시부산물		가스: 매립지가스, 슬러지가스

1): 주로 나무 가공을 통해 생산된 고형바이오연료

2): 주로 나무바이오매스로부터 생산된 액체와 가스바이오연료

자료: FAO, Unified Wood Energy Terminology, Working document FOPW/01/05. Available on the Internet: www.fao.org/forestry/FOP/FOPH/ENERGY/doc/UWET/eng/uwet-e00.htm, 2001. D. Thran, Wood energy : the way ahead, Unasylva 211, Vol. 53, 2002에서 재인용

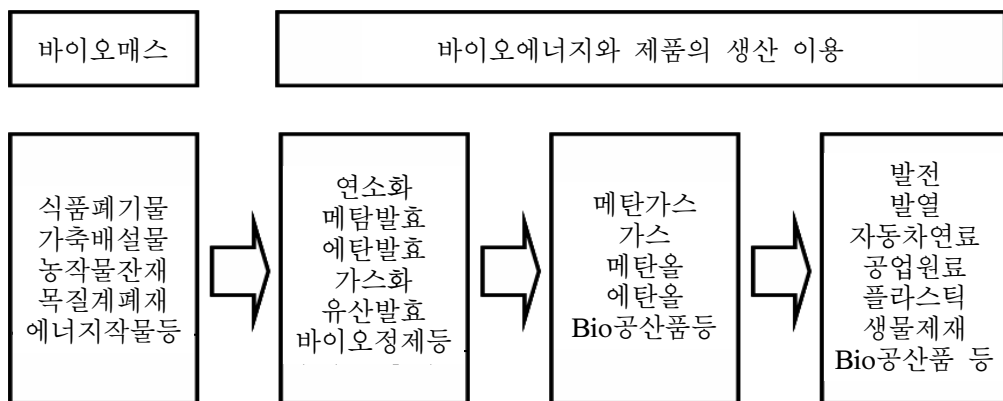
인 과정을 거쳐 에탄올 등의 연료를 만들어 내는 “연료 전환기술”과 획득한 연료에 의해 최종 소비형태인 전기나 열을 만들어 내는 “에너지 전환기술”이 필요하다.

바이오매스를 연료로 전환하는 데에는 미생물 발효와 같은 “생물화학적 전환방법”과 열화학적 원리를 이용하는 “열화학적 전환방법”이 있으며, 이외에 바이오디젤(Bio-diesel) 제조방법이 있다.

3.1. 생물학적 전환방법

생물학적 전환방법은 한마디로 발효(fermentation)를 이용하는 것인데, 미생물을 이용하여 유기물을 발효시켜서 필요한 연료를 획득하는 방법으로 메탄발효, 에탄발효와 수소발효가 있다. <그림2>는 가장 많이 볼 수 있는, 축산분뇨를 이용한 간단한 메탄가스발생과 가스 발생 후 비료를 만들어내는 공정이다.

그림 1. 바이오매스연료와 제품 생산, 이용흐름도



자료: 大臣官房環境政策課資源循環室, Biomass を利用した代替Energyの活用, 『AFF: Agriculture, Forestry, Fisheries』, 2005. 6 내용을 약간 수정함.

그림 2. 축산분뇨이용 에너지와 제품생산 공정도

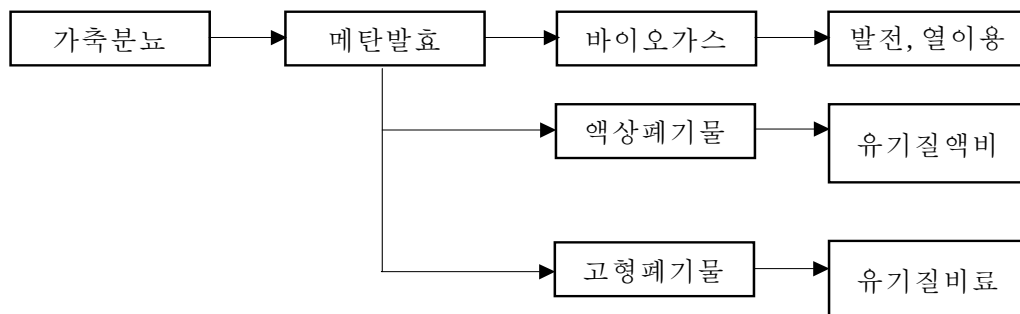


그림 3. 바이오매스이용 직접연소 공정도

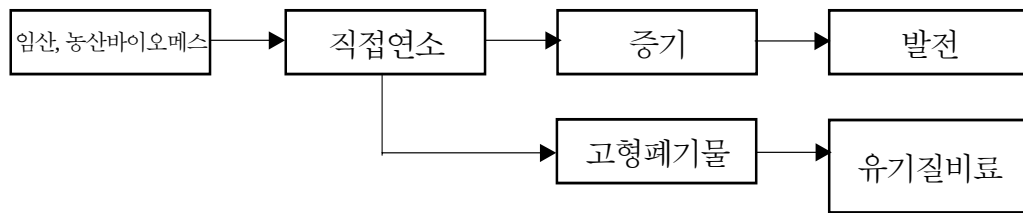
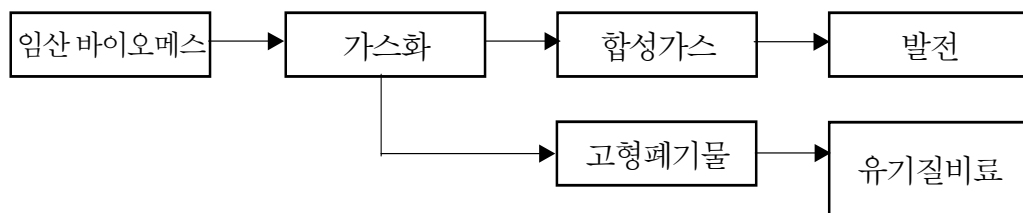


그림 4. 바이오매스이용 가스화 공정도



3.2. 열화학적 전환방법

열화학적인 전환방법에는 직접연소, 열분해와 가스화, 탄화 등이 있다. 직접연소라는 것은 목질계 바이오매스와 수분함량이 낮아 직접연소가 가능한 바이오매스를 연소(burning)시키고 그 과정에서 생성되는 열을 이용하는 것이다(그림3).

가스화(gasification)란 상당히 고온 상태에서 열분해하여 CO, H₂ 등의 가연성 가스를 만들어 내는 것으로, 이러한 고온의 가스로 발전할 수도 있으며 연료전지의 연료나 메탄올 합성 연료 등으로 사용이 가능하다(그림4).

탄화(carbonization)를 통해 목탄을 만들어 사용하기에도 하는데, 이 방법은 우리 일상에서 흔히 볼 수 있다. 결국 열분해의 조건에 따라 반응 산물을 다르게 조절할 수 있는데, 대체로 탄화와 건류(distillation)과

정²을 통해 100kg의 마른 나무에서 30~50kg의 목탄, 35~50kg의 pyroligneous liquids (이것 중 80%는 pyroligneous acids 이며 20%는 페놀성 타르임), 15~20kg의 가스를 생성한다.³

3.3. 바이오디젤 제조방법

바이오디젤은 야채오일(vegetable oils), 동물성 지방 혹은 폐식용유 등 오일로부터 알칼리 촉매를 이용한 에스테르화를 통해 생산된다. 기존 화석연료 디젤과 유사한 점도와 발열량을 가져 바이오 에탄올과 함께 수송용 연료로 각광을 받고 있

² 목탄화과정에서 pyroligneous 용액을 얻고 자할 때의 공정을 의미한다.

³ 황병호 외, 「목질바이오매스」, 선진문화사, 1998, p39

으며, 특히 바이오 디젤은 60%이상의 이산화탄소 감축효과가 있는 것으로 보고 있다.

4. 바이오매스 이용의 유용성

바이오매스는 원료로서 뿐만 아니라 만들어진 생산물 자체도 다양하기 때문에 개발과 이용으로 인한 유용성 또한 매우 다양하다. 국가 차원에서 순환사회형성에 이바지하고, 지역간 균형발전과 함께 경제성장의 원동력이 될 수도 있으며, 지구 온난화 가스의 양을 줄이는 등의 유용한 결과를 가져다준다(표3).

표 3. 지역 바이오매스 에너지 생산관련 혜택

영역	혜택
사회적 관점	- 생활수준 상승(환경, 건강, 교육) - 사회적 강화와 지속성(이주효과: 농촌 과소화 방지, 지역발전, 농촌 다양화)
거시 수준	- 공급의 안정성/위험의 다양화 - 지역성장 - 지역간 물량거래 감소 - 수출가능성
공급 측면	- 생산성증가 - 경쟁력 강화 - 노동과 인구유동성(유발효과) - 인프라 개선
수요 측면	- 고용 - 소득과 부의 창출 - 유발투자 - 관련 산업의 지지

자료: J. Domac et al., Socio-economic drivers in implementing bioenergy projects, *Biomass and Bioenergy*, 28, 2005

4.1. 지속가능한 에너지원

미래 에너지 대안으로서 바이오매스의 중요성이 검토된 Göran Berndes et al. (2003) 연구에 따르면⁴, 비록 바이오에너지에 사용할 수 있는 가용한 토지면적과 생산성의 차이로 연구자간의 예측량에 차이가 많지만 바이오매스는 미래 지구상의 주된 1차 에너지원이 될 것이다. 근대화된 바이오에너지 시스템은 발전도상국을 물론 선진국에 있어서 미래 지속가능한 에너지시스템의 구축과 발전에 기여할 것이다.

표 4. Ha당 작물별 에너지량

작물	에너지량
사탕무(sugarbeet)	2.9toe/ha
곡물(cereals)	0.9toe/ha
포도씨꺼기(rape)	1.1toe/ha

주: EU 위원회에서 평균치로 사용한 기준임.

자료: Commission of the European Communities, *Biomass Action Plan(Communication from the Commission)*, COM(2005) 628 final, 2005. 12

<표4>에는 주요 작물별 ha당 에너지의량이 제시되어 있다. 이것과 달리 EU에서는 1ton의 바이오디젤은 0.9toe과 같고, 1ton의 바이오에탄올은 0.64toe와 같은 것으로 보고 있다⁵.

⁴ 2050년 예측치가 100EJyr-1 에서 400 까지의 폭이 있다. Göran Berndes et al., The Contribution of biomass in the future global energy supply: a review of 17 studies, *Biomass and Bioenergy*, 25, 2003

⁵ http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/observ/baro167b.pdf의 자료 참조

4.2. 지구온난화 방지

유기물인 바이오매스는 그 생성과정에서 이산화탄소를 흡수하는 데, 그 양과 바이오매스를 이용한 에너지의 생산과 소비에서 발생하는 이산화탄소의 양이 같아 탄소중립적(Carbon Neutral)이다. 따라서 바이오에너지를 이용할 경우 발전효율이 어느 정도만 보장된다면 국제적으로 거론되는 탄소배출량 감축은 가능할 것으로 판단⁶하고 있다.

한편 에탄올을 혼합연료로 사용할 경우 오존수준이 떨어진다는 것을 많은 연구에서 검증하고 있는 데⁸, 위스콘신에서 E10(가솔린 90%+에탄올 10%)을 사용한 경우 오존 초과일 수가 16%감소했으며, 캘리포니아에서도 E6(가솔린 94%+에탄올 6%) 사용으로 인해 22% 오존감소라는 결과를 가져왔다.

일본에서는 교토의정서 합의문상의 CO₂ 삭감 방안으로 바이오매스에너지 활용을 포함한 5가지 정책을 추진하고 있는

표 5. 전기생산시 자원별 CO_{2eq} 산출량의 비교(gCO_{2eq}/KWhe)

구분	생산시 (production)	수송시 (Transport)	전환시 (Conversion)	청소시 (Clean-up)	계
바이오매스	59	17	0.7	0.2	77
석탄	97		957	0.04	1,054
가스	15		396	0	411

주: 발전설비의 유효성은 바이오매스32%, 석탄 38%, 천연가스 52%

자료: Royal Commission on Environmental Pollution, *Biomass as a Renewable Energy Source*, 2004

1톤의 건조 나무는 370Kg의 석탄 탄소를 대체, 결국 2020년경에는 바이오매스와 다른 재생가능 에너지가 에너지의 주류가 될 것이지만 그 가운데 바이오매스가 국제적, 국가적으로 이산화탄소의 방출량을 줄이는 데 핵심역할을 할 것이며, CDM(Clean Development Mechanism)의 중요 요소가 될 것이다⁷.

데(표6), 이 가운데 일본의 바이오매스 잠재량 2억 6천만 톤을 메탄올로 환산시 1.3억 톤, 원유 환산시는 7,800만kl(6,500만 톤)에 해당한다. 이것은 이산화탄소 배출량의 10%인 3,000만 탄소톤, 삭감 목표량의 50%를 줄일 수 있는 양에 해당하고,

Bio-Energy for carbon-dioxide mitigation with special reference to India, not available source.

⁶ 小木知子, “Biomass Energy 利用による CO₂ 소감 效果”, 資源環境技術総合研究所 NIRE News, 1998. 10

⁷ N. Hooda & V.R.S. Rawat, Role of

⁸ REAP, Cleaning the Air with Ethanol - a review of the real world impact from fuels blended with ethanol, <http://www.reapcoalition.org/main.html>, March, 2006

표 6. 일본의 CO₂ 삭감을 위한 5대 시책과 CO₂ 절감효과

구 분	주요 내용	CO ₂ 절감효과
원자력가동률 향상	○ 정기검사시간 단축 등을 통해 원자력 가동률 8~10%향상 ○ 열료 교환주기 장기화	600만 탄소톤(10%)
저연비·연료전지차의 보급	○ 하이브리드차, 저연비디젤차 보급 ○ 수소이용의 연료전지차 개발	5,600만 탄소톤(93%)
바이오매스에너지활용	○ 바이오매스 에너지활용을 2010년까지 1차 에너지의 10%로 확대	3,000만 탄소톤(50%)
에너지다소비산업의 열이용프로세스 혁신	○ 철강, 화학, 시멘트, 제지산업의 열이용 프로세스 혁신에 의한 산업경쟁력 강화	1,000만 탄소톤(17%)
민생전력을 삭감하는 백색발광다이오드보급	○ 백색발광다이오드(LED) 보급으로 민생 전력량의 20%를 점하는 조명분야에서의 소비 에너지를 대폭 삭감	900~1,500만 탄소톤(15~25%)

주: ()내 비율은 일본의 이산화탄소 삭감량 6,000만 탄소톤에 대한 비율임.

자료: 富士通總研(FRI)經濟研究所, 「京都協定書發效をバネに地域分散型産業構造へ」, 研究Report No.137, 2002. 7

화폐액으로 환산하면 연간 9조 엔의 에너지 수입액을 절감하는 효과가 있다고 평가하고 있다.

4.3. 순환형 사회 형성에 기여

지금까지 폐기물로 인식되어온 바이오매스를 하나의 자원으로 보고 적절하게 처리할 경우 자연순환시스템이 복원되고 유지가 가능하며, 자연순환 생산시스템 구축에 기여할 것이다⁹.

2001년 3월에 책정된 일본 사가현(滋賀縣) 신아사히쵸(新旭町)의 “신아사히쵸 에

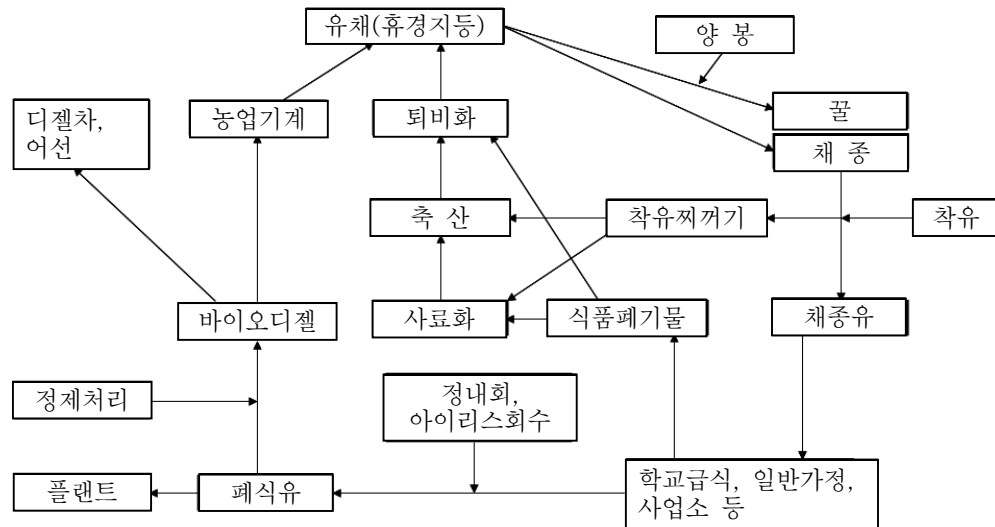
너지 비전”을 통해 하나의 자원순환 모델을 엿볼 수 있다. 신(新)아사히쵸 유채프로젝트는 자원순환의 흐름을 이용하고 있다(그림 6). 중요한 순환상의 특징은 휴경지 등에서 유채를 재종하여 토지이용을 촉진하고, 재종으로부터 유채유를 착유, 식용으로 사용한 후, 폐식용유를 회수하여 바이오디젤을 만들어 자동차나 농기계, 어선 등의 연료로 사용한다. 착유 후 발생하는 유박은 퇴비나 사료생산에 이용하고, 유채꽃이 피는 시절에는 관광자원으로 활용한다.

4.4. 소득과 고용의 창출

일본 내에서 바이오매스를 이용할 경우 장기적으로는 4개의 시장 - 에너지의 원

⁹ 허길행, “가축분뇨 발효 액비화에 의한 농업부문 자원순환체계 복원 연구”, 「농촌경제」, 제23권 제3호, 한국농촌경제연구원, 2000. 가을

그림 6. 유채 프로젝트의 자원순환



자료: 박경철 譯, “바이오매스에너지와 지역농업의 재편성”, 池上甲一 著, 『농민과 사회』, 한국농어촌사회연구소, 2004. 여름, pp.225-234

표 7. 바이오매스가 창출하는 새로운 시장(일본)

시장종류	상 품	시장규모
에너지 이용형태의 변화에 의한 시장(분산형 코제너레이션, 열전병급)	○ 바이오매스 기원원료(매탄, 가스화가스, 수소) ○ 기기, 설비/엔지니어링(발전기, 가스화기기 등) ○ 전력, 열 등의 에너지 판매 ○ 에너지 서비스 등	1~3조엔
자동차용 화석연료의 대체에 의한 시장	○ 바이오에탄올 ○ 바이오디젤, ○ 수소 등	1~2조엔
천연 소재 신시장(Bio Refinery)	○ 바이오플라스틱 ○ 바이오알코올 ○ 의약, 화장품 ○ 기능성 식품 등	5~10조엔
해의 시장	○ 바이오매스, 제품 생산설비 ○ 가스화/발전 설비 ○ 열전병급 기기, 설비 ○ 바이오매스 생산설비, 노하우	1조엔

자료: 浪江一公, “바이오매스가 창출하는 새로운 시장”, 『지구환경』, 5월호, 2004, 일본공업신문사

료와 관련설비, 에너지 이외 바이오제품 하고 있다. 특히 에너지(2~5조 엔)보다 제
과 해외 부분 - 이 창출될 것으로 보고 있 품시장(5~10조 엔)이 더 클 것으로 예상하
다. 4분야의 시장규모는 작게는 8조 엔, 고 있다(표7).
크게는 16조 엔 정도까지 될 것으로 추정 EU에서도 장차 바이오에너지로 인한

표 8. EU내 재생가능 기술영역부분 고용전망

단위: 명

구 분	2005	2010	2020
태양열(Solar thermal heat)	4,590	7,390	14,311
연료전지(PV)	479	-1,769	10,231
태양전기(Solar thermal electric)	593	649	621
해안풍력(Wind onshore)	8,690	20,822	35,211
내륙풍력(Wind offshore)	530	-7,968	-6,584
소수력(Small hydro)	-11,391	-995	7,977
바이오에너지	449,928	642,683	838,780
합계	453,418	660,812	900,546

자료: ECOTEC Resaerch and Consulting Ltd/Directorate General for Energy, European Commission. *The Impact of renewables on employment and economic growth*. www.euforest.org/FinalRep.PDF.1999. J. Domac et al., Socio-economic drivers in implementing bioenergy projects, *Biomass and Bioenergy*, 28, 2005, p104에서 재인용

고용창출은 재생가능 에너지영역에서 절대적인 위치에 있을 것으로 보고 있다(표 8). 바이오에너지에 대한 이해와 실행 정도가 나라에 따라 천차만별이지만 재생 가능한 바이오에너지의 고용창출 잠재성은 대단히 크다¹⁰.

우리나라의 경우 특별히 산림자원의 경우만을 보면 매년 간벌, 천연림 보육과 어 린나무 가꾸기 등을 통해 90만 톤 - 원유 약 178만 배럴에 해당(당시시가 약 4,500만 달러, 현시가 1억 달러 이상) - 의 바이오매스가 수집되고 있다¹¹. 직접 수집에 연간 1,260명(1일 2.5톤 수집, 연간 200일 기준)의 직접적인 고용창출효과가 있고 산업까지를 고려할 경우 약 2,500명의 추

가 고용창출효과가 있는 것으로 분석되고 있다.

바이오매스의 효율적 이용은 소비와 이를 통한 생활수준의 향상, 이외에 교육이나 고용기회, 주변 환경과 건강보호 등 많은 유효요소가 있다¹². 아울러 화석연료를 바이오에너지가 대체할 경우 산성비, 각종 매연문제 해소 등에 도움이 되어 사회와 자연환경이 개선되고 사람들의 생활의 질과 건강에 도움이 될 것이다.

바이오에너지 생산에 따른 순고용과 소득창출기회는 농촌지역의 인구 과소화 문제와 이로 인한 지역간, 계층간 이질화 개선에 도움이 될 것이다. 즉 농촌으로부터의 인구이동의 요인이 소득측면에서 많다면 이의 보완을 통해 농촌의 과소화는 어느 정도 완화될 수 있을 것이며, 나아가

¹⁰ J. Domac et al., Socio-economic drivers in implementing bioenergy projects, *Biomass and Bioenergy*, 28, 2005, pp104-105

¹¹ 최돈하, “지구온난화와 목질연료”, 「임업정보」, 2003. 8, P123

¹² J. Domac et al., Socio-economic drivers in implementing bioenergy projects, *Biomass and Bioenergy*, 28, 2005

지역발전과 다양성 유지 등이 가능할 것이다.

다르다. 이를테면 온대지역은 옥수수나 사탕무, 아열대 지역은 감자나 해조류, 열대지역은 벼나 사탕수수 등이 획득하기 용이한 작물이다(표9).

5. 바이오매스 이용 시 검토사항

5.2. 경제성

5.1. 자원획득 가능성

바이오매스는 동식물로부터 유래되는 유기성 자원으로서 생산의 지역적인 속성을 가진다. 현실적으로 이용할 수 있는 바이오매스 자원은 지역마다 다르고 제한적이다. 특히 재배를 통한 바이오매스 획득은 지역적인 제한이 강하며, 같은 식물이라도 하더라도 에너지원으로 활용할 수 있는 가능량이 기후와 재배조건 등에 따라

바이오매스는 그 자체적인 특징, 즉 이용가능한 시기의 제한성, 넓은 지역에 분산된 분산성 등의 특징이 있다. 특히 실질적 운영 제한요소(logistic constraints)와 함께 바이오매스의 에너지로의 전환기술의 비효율성이라는 현실적인 특징으로 인해 경제성이 유리하지 않을 가능성이 많다.

일본의 한 연구에서는 몇 가지 재생가능에너지의 경제성을 비교·분석하였는데, 그 결과를 <표10>을 통해서 살펴보면 아

표 9. 단기간 내 식물의 광합성효율의 최대치

지역	식물	생산지	생산량(건물중) (G/m ² , 일)	광합성효율(%)
온대	호밀	영국	28	2.5
	사탕무	영국	31	4.3
	보리	영국	23	1.8
	밀	화란	18	1.7
	옥수수	미국	40	3.4
아열대	감자	미국	37	2.3
	해조류	미국	24	1.5
열대	벼	필리핀	27	2.9
	사탕수수	하와이	37	3.8
	카사바	말레이시아	18	2.0
	사료용수수	호주	54	4.3

자료: 金吉煥, “農業과 에너지(9)” 1985 국제식량농업 273('85.11) pp.13-21 국제연합식량농업기구(FAO) 한국협회에서 재인용, 원자료: 須之部淑男, “エネルギー作物”, 自然, 1979. 7

표 10. 대체에너지원별 설비의 경제성 비교(일본)

구 분	태양광	풍력	바이오매스	원자력
kw당 설비비용(만엔)	60	25	20	30
발전효율(%)	10	25	20	35
이용률·가동률(%)	12	20	50	80
발전비용(엔/kwh)	66	17	20~25	5.9(~10)

자료: 富士通總研(FRI)經濟研究所, 「京都協定書發效をバネに地域分散型産業構造へ」, 研究Report No.137, 2002. 7. P10 의 내용을 일부 수정, 작성

무래도 원자력의 경제성이 높다.

바이오매스를 이용한 발전은 태양광에 비해서는 상대적으로 유리하나 여전히 경제성이 낮기 때문에 재정적인 지원이 바이오매스 이용도 제고에 이바지할 것이다¹³.

우리나라 목재 보일러의 경우 대체관계인 연탄, 등유, 전기 보일러 등과의 비용효율성을 계측한 연구가 있다¹⁴. 이 연구결과에 따르면 목재 칩을 이용한 보일러의 경제성이 등유와 전기(심야전기 포함)보일러보다 우월¹⁵한 것으로 나타나고 있다.

한편 우리나라에서는 신·재생 에너지에 의한 발전의 경우 발전차액 지원제도를 운영하고 있는데, 가장 핵심적인 발전 원가와 이를 기준한 시스템 마지날 프리미엄(SMP)에 대한 검토가 2006년 3월에 있었다. 여기에서 제시된 재생가능 에너지원별 발전 고정가격을 비교해 보면(표 12), 바이오매스에 의한 발전이 상대적으로 경제적인 유리성을 갖고 있다¹⁶.

5.3. 대체재의 개발과 기술발전

바이오매스는 에너지생산과 관련 제품을 생산하는 데 이용되는데, 에너지 생산에 이용할 경우 반드시 기존의 에너지와 경쟁관계를 피할 수 없다. 따라서 바이오

¹³ 이 연구에서는 다양한 기술적, 현실적 조건하에 경제성을 검토하였는데, 중심 내용은 각 개별변수의 변화에 따른 경제성에 영향을 미치는 정도의 계측과 비교에 더 많은 관심을 기울이고 있다. Antonio C. Caputo et al., Economics of biomass energy utilization in combustion and gasification plants: effects of logistic variables, *Biomass and Bioenergy*, 28, 2005

¹⁴ 석현덕 외, 「목질 바이오매스 열에너지 개발의 경제성 분석과 에너지용 산림폐재의 지속적 확보방안」, c2005-30, 한국농촌경제연구원, 2005 pp54~55

¹⁵ 물론 현실적으로 농촌의 등유보일러 사용가구가 연간 11,084천kcal의 열을 소비하고 있고, 이를 목재 칩 보일러로 대체하려면

연간 4톤가량의 목재 칩이 필요하여 수집과 보관 등의 애로는 있다(석현덕 외, 2005, pp54~55).

¹⁶ 원가 산정의 명확한 기준과 현실적 타당성에 대한 수용은 별개이다. 우리나라의 경우 관련된 시설이 광범위하게 오랫동안 운영되고 있지 않기 때문에 발전원가 산정 시 편기의 가능성은 매우 높다고 보고 있다.

표 11. 난방 설비별 단위 열량 생산 비용 비교(한국)

구분	연탄보일러	등유보일러	전기보일러	심야전기 보일러	목재 칩 보일러
에너지단가	202.5원/장 (3.6kg)	640원/ℓ	74.7원/kWh	32.6원/kWh	126.6원/kg
연료발열량	4,500 kcal/kg	8,700kcal/ℓ	860kcal/kWh	860kcal/kWh	2,800kcal/kg
열효율(%)	71.6	80	95	95	70
단위열량당 비용 (원/1000kcal)	17.5	92.0	91.4	39.9	35.2

주1: 열효율은 제조사, 기종에 따라 달라질 수 있음

주2: 연료 가격은 물가정보 참조

표 12. 한국 신·재생에너지 발전차액 기준가격(개정안)

전원	구분		기준안(원/Kwh)	
			고정요금	프리미엄
태양광	30Kw 이상		677.38	-
	30Kw 미만		711.25	
소수력	일반	1MW 이상	86.04	SMP+20
		1MW 미만	94.64	SMP+30
	기타	1MW 이상	66.18	SMP+5
		1MW 미만	72.80	SMP+10
바이오	LFG	20MW 이상	68.07	SMP+5
		20MW 미만	74.99	SMP+10
	바이오가스	150Kw이상	72.23	SMP+10
		150Kw미만	85.71	SMP+20
	바이오매스		68.99	SMP+10
연료전지	바이오가스이용		228.52	-
	기타연료이용		269.72	-

자료: 한국전기연구원, 「신·재생 에너지 발전차액 지원제도 개선방안」, 2006. 3. 22, P 31의 일부 내용 삭제하여 정리한 자료임.

매스에너지의 생산과 공급은 기존 화석연료가 가지는 지구온난화 문제와 더불어 고갈성, 탐사와 채굴기술, 가격수준과 변동 등에 연계된다.

같은 재생가능 대체에너지라는 범주에 들어있고, 꾸준히 기술개발을 해 온 다른

분야 에너지와의 경쟁도 불가피하다. 태양열이나 광 에너지, 풍력, 지열과 조력, 소수력 등이 바이오매스에너지와 경쟁관계에 있다. 우리나라의 경우에도, 여러 가지 지리, 경제, 사회적 요인이 있겠지만, 바이오매스보다는 이러한 에너지원에 대

한 관심이 높은 것이 사실이다¹⁷.

5.4. 관련 제도

바이오매스의 이용을 활성화하거나 촉진, 규제하는 관련제도는 생산에서 최종이용까지 다양하며 대단히 중요한 요소이다.

축산분뇨나 유기성 음식물 쓰레기는 대부분 퇴비나 액비 생산에 사용되거나 혹은 메탄발효 후 액비를 생산·이용하고 있다. 이 과정에서 차칫 토양과 지하수 오염원이 될 수 있고, 그래서 오랜 동안 유럽에서는 이에 대처방안으로 분뇨살포의 시기와 횟수, 양에 대한 제도적 제한을 실천하고 있다. 이는 결국 가축사육두수의 축

소 나아가 바이오매스 이용의 제약과 관련되며, 우리나라의 경우 가축분뇨 발생을 줄이기 위해 지역별 양분 총량제 시행 후 가축분뇨에 의한 문제가 지속적으로 발생할 경우 “가축사육두수 총량제”로 전환하는 것을 검토하고 있다¹⁸.

바이오매스 발전전기에서 이용촉진 수단으로 가장 많이 이용되는 세금의 면제(감면)도 바이오매스 이용촉진에 밀접한 관련이 있다. 독일의 경우 비록 바이오매스로 인한 전기의 단가가 비싸지만 세금 감면으로 인해 경쟁력을 갖게 된다(표13).

이 외에도 경유차 배출가스 규제, 녹색가격제도(green price system), 생태세(ecotax), 화석연료부담금(fossil fuel levy(tax)), 재생에너지 의무할당구입제(RPS), 발전차

표 13. 독일의 경유와 바이오디젤에 대한 세금 비교

단위: DM/ℓ

구 분	경 유				바이오디젤
	2000	2001	2002	2003	
생산원가	0.42	0.42	0.42	0.42	0.98
세 금	1.74	0.8	0.86	0.92	0.08
최종가격	1.16	1.22	1.28	1.34	1.06

자료: 이진석·김덕근, “바이오에너지의 보급현황과 기술개발 전망”, ETIS 분석지 제23권, 한국에너지기술연구원, 2004

원전: Austrian Biofuels Institute, *The Development of Biodiesel in Germany*, IEA Report(2002),

¹⁷ 대체에너지 3대 중점분야는 태양광, 풍력, 연료전지이며, 대체에너지 시범마을도, 일본의 경우 바이오타운으로 바이오매스가 중심인데 반해, 우리나라는 태양광에너지 중심(2010년까지 100개 확대)으로 되어 있다. 산업자원부, 「제2차 국가에너지기본 계획」, 2002. 12, pp211~214

액제도(feed-in tariff), 재생가능에너지 인증제(Renewable certificate), 기후변화부담금(CCL: Climate Change Levy), 표준기준, 각종 정부의 지원, 교토의정서 문제

¹⁸ 농림부·환경부 합동, 「가축분뇨 관리·이용 대책」, 2004. 11, PP82~88

등의 제도적 이슈와 정책 등이 바이오매스 에너지의 개발, 이활용에 밀접한 관련을 갖는다.

6. 맺음말

적어도 에너지 측면에서 바이오매스는 자원으로써 풍부성, 재생가능성, 탄소중립성, 지역성 등의 유용한 성격을 갖고 있어 이미 선진국에서는 이를 이용한 대체에너지의 개발과 보급에 정책적인 노력을 경주해 오고 있다. 브라질의 국가알코올계획(National Alcohol Program), 일본의 바이오매스 일본종합전략, 유럽의 바이오실행계획 2005 등 바이오매스를 이용, 확대하려는 노력은 쉽게 발견되고 있다.

우리나라의 경우에도 자의든 타의든 에너지의 안정적 확보, 지구온난화 대응 등의 문제에 심각하게 당면할 것이며 이의 대처수단으로서 바이오매스를 중시하지 않을 수 없을 것이다. 그럼에도 불구하고 우리나라는 여전히 바이오매스에 대한 종합적인 검토와 전략 수립이 대단히 미흡한 실정이다.

바이오매스의 이용촉진을 위해서는 여러 가지 요인들이 충족되어야 하지만 그 가운데 가장 중요한 것은 국민들의 바이오매스에 대한 이해확산과 바이오매스의 이용확대를 위한 정책적인 지원, 그리고 확대를 위한 실천행동이다. 정책 수립을 위해 범부처적인 위원회와 바이오매스 TFT

(Task Force Team)를 만들어서 전반적인 여건과 가능성, 기술실태, 관련제도에 대한 광범위한 검토가 있어야 할 것이다.

벌써 20여년의 경륜을 갖고 있는 선진국들의 바이오매스 정책과 수단 등에 대한 검토를 통해 우리에게 적합한 제도정립이 필요하며 아울러 관련 기술수준의 평가와 선진기술 도입 타당성, 개발 전략도 동시에 강구해야 할 것이다. 특히 바이오매스의 이용촉진을 위해서는 생산단계부터 최종 사용에 이르기까지의 전 과정을 종합적으로 접근할 필요가 있다. 하나하나 떼어서 정책을 강구하면 실효성이 그만큼 떨어지기 때문이다.

참고 문헌

- 김길환. 1985. 11. “農業과 에너지(9).” 「국제식량농업」 273.
- 농림부·환경부 합동. 2004. 11. 「가축분뇨 관리·이용대책」.
- 박경철 역. “바이오매스에너지와 지역농업의 재편성.” 池上甲一 著. 「농민과 사회」. 2004 여름호. 한국농어촌사회연구소.
- 산업자원부. 2002. 12. 「제2차 국가에너지기본계획」.
- 서세욱. 2005. “바이오매스 자원의 활용과 조건.” 「농촌과 사회」 2005년 여름호. pp. 112-125. 한국농어촌사회연구소.
- 석현덕 외. 2005. 「목질 바이오매스 열에너지 개발의 경제성 분석과 에너지용 산림폐재의 지속적 확보방안」. c2005-30. 한국농촌경제연구원.
- 이진석, 김덕근. 2004. “바이오에너지의 보급현황과 기술개발 전망.” ETIS 분석지 제 23권, 한국에너지기술연구원.

- 최돈하. 2003. 8. “지구온난화와 목질연료.” 임업정보.
- 한국전기연구원. 2006. 3. 「신·재생 에너지 발전 차액 지원제도 개선 방안」.
- 허길행. 2000. “가축분뇨 발효 액비화에 의한 농업부문 자원순환체계 복원 연구.” 「농촌경제」 23(3). 한국농촌경제연구원.
- 황병호 외. 1998. 「목질바이오매스」. 선진문화사.
- Antonio C. Caputo et al. 2005. “Economics of biomass energy utilization in combustion and gasification plants: effects of logistic variables.” *Biomass and Bioenergy*, 28.
- Austrian Biofuels Institute. 2002. “The Development of Biodiesel in Germany.” *IEA Report(2002)*.
- Commission of the European Communities. 2005. 12. *Biomass Action Plan (Communication from the Commission)*, COM(2005) 628 final.
- ECOTEC Resaerch and Consulting Ltd/Directorate General for Energy, European Commission. *The Impact of renewables on employment and economic growth*. <www.euforest.org/FinalRep.PDF.1999>.
- FAO. 2001. *Unified Wood Energy Terminology*. Working document FOPW/01/05. Available on the Internet: www.fao.org/forestry/FOP/UWET/eng/uwet-e00.htm>.
- D. Thrän. 2002. “Wood energy : the way ahead.” *Unasylva* 211, Vol. 53.
- Göran Berndes et al. 2003. The Contribution of biomass in the future global energy supply: a review of 17 studies. *Biomass and Bioenergy*, 25.
- J. Domac et al. 2005. “Socio-economic drivers in implementing bioenergy projects.” *Biomass and Bioenergy*, 28.
- N. Hooda & V.R.S. Rawat. “Role of Bio-Energy for carbon-dioxide mitigation with special reference to India.” not available source.
- REAP. 2006. March. *Cleaning the Air with Ethanol - a review of the real word impact from fuels blended with ethanol*. <http://www.reapcoalition.org/main.html>.
- Royal Commission on Environmental Pollution. 2004. *Biomass as a Renewable Energy Source*.
- 大臣官房環境政策課資源循環室. 2005. 6. “Biomass を利用した代替Energyの活用.” 「AFF: Agriculture, Forestry, Fisheries」.
- 浪江一公. 2004. 5. “바이오매스가 창출하는 새로운 시장.” 「지구환경」. 일본공업신문사.
- 富士通總研(FRI)經濟研究所. 2002. 7. 「京都協定書發效をバネに地域分散型産業構造へ」. 研究Report No.137.
- 小木知子. 1998. 10. “Biomass Energy 利用によるCO2 削減 効果.” 資源環境技術總合研究所 NIRE News. <http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/observ/baro167b.pdf>.

원고 접수일: 2006년 8월 1일 원고 심사일: 2006년 8월 10일 심사 완료일: 2006년 9월 25일
