

유럽에서의 바이오 에너지

바이오 에너지는 온실가스를 저감하고 화석연료를 대체할 수 있는 주요한 에너지원중의 하나로 간주되고 있다. 특히 유럽에서는 바이오 에너지를 개발하고 장려하는 활동과 프로그램이 활성화되어 있다. 기본적으로 유럽의 모든 나라는 그들 나라의 에너지와 기후 정책에 있어서 바이오 에너지를 포함시키고 있다. 또한 바이오매스 곡물 혹은 이용가능한 자원의 사용이 농업정책과 연관되어 있다. 유럽연합의 경우 2010년에 모든 에너지의 10%를 바이오매스로부터 충당한다는 목표를 설정하였다. 스웨덴 같은 국가는 2020년경에는 에너지 공급의 40%를 바이오매스로부터 충당할 계획이다. 또 다른 예는 최근 운송 분야에 이용되는 바이오 연료 정책이다.

바이오 에너지는 종류가 다양하고 많은 기술분야와 정책분야가 연관되어 있다. 또한 바이오매스의 이용은 에너지 뿐만 아니라 농업, 임산업, 식품 가공, 제지, 건축 등과 같은 다양한 경제분야와 맞물려 있다. 긍정적인 면에서 바라보면 바이오 에너지는 에너지 생산 외에도 여러 가지 이익을 창출하는 많은 기회를 제공할 수 있다. 반면 바이오 에너지 시스템의 제도는 많은 이해관계가 부딪히게 되고 매우 복잡한 상황을 가져올 수 있다. 이런 관점에서 바이오 에너지 프로젝트의 실현은 매우 어려운 작업이 될 수 있다. 시간에 따른 연료 사용성, 대체 응용, 변동 가격, 수입원 등이 몇몇 일반적인 어려움의 예들이다. 현 상황에서 여러 가지 바이오 에너지에 대한 연구가 되고 있으나, 현재까지 명확한 승자는 보이지 않고 있다.

바이오 에너지 개발에 대해 전체적으로 다루고 있는 문헌에서 바이오 에너지의 조건들과 정책에 관련된 포트폴리오를 구성한 것을 찾기도 매우 어렵다. 대부분의 문헌들은 개별 국가나 특정한 기술적 조건들에만 언급을 하고 관련 분야의 일반적인 경향에 대해서는 보고하지 않고 있다.

본 자료에서는 유럽 연합에서 상업적이고 현대적인 바이오 에너지의 사용에 대한 개괄적인 것을 제공하는데 그 목적이 있다. 즉 과거 10-15년간 바이오 에너지 관련해서 어떠한 다양한 조건들과 기술이 개발되었는지와 그러한 조건들이 각각의 나라에서 어떻게 지원되었는지에 대해 다루었다. 그 결과 미래의 바이오 에너지 정책에 대한 결론들이 도출될 수 있었다.

1. 바이오 에너지 생산에 대한 주요한 조건들

1.1 자원들: 바이오매스 잔사물과 유기성 폐기물

에너지로 사용될 수 있는 바이오매스자원들은 매우 다양하며 이들을 일차, 이차, 삼차 잔사물로 나눌 수 있다.

- 일차 잔사물은 식용 곡물과 임산 생산품을 생산하는 과정에서 생산된다. 이러한 바이오매스 stream은 'in the field'에서 이용가능하고 추가적인 사용을 위하여 수집될 필요가 있다.
- 이차 잔사물은 식품 생산물이나 바이오매스 물질의 생산을 위해 바이오매스를 가공하는 도중에 생산된다. 이러한 것들은 전통적으로 식품, 음료 산업, 제지,

임업 등에서 이용 가능하다.

- 삼차 잔사물은 바이오매스에서 유래된 상품이 사용된 후에 이용 가능하다. 즉 다양한 폐기물 stream이 이러한 분류에 해당한다. 예를 들면 도시 고형 폐기물 중 유기성 부분, 슬러지 등이다.

일반적으로 바이오매스잔사물은 시장의 복잡성과 연관되어 있다. 많은 잔사물은 사료, 비료, 토양 정화제, 합판 원료 물질 같은 유용한 곳에 사용될 수 있다. 바이오매스 잔사물의 가격과 이용 가능성 등은 일반적으로 시장의 수요, 폐기물 처리 기술에 달려 있다.

전통적으로 유기성 폐기물과 잔사물의 응용성은 시장 개발에 의해 변동성이 있고 기후 등에 의해서도 영향을 받는다.

폐기물과 잔사물의 이용성 외에도 바이오매스는 에너지 생산을 위한 특정 작물을 생산함으로써 생산될 수 있다. 이러한 작물은 다양하며 이러한 바이오매스 생산 과정을 '에너지 농업'이라고 칭한다. 유채와 시리얼 같은 몇몇 농업 작물들은 현재 유럽에서 에너지원으로써 재배되고 있다. 이들 작물들은 전통적인 농업생산품과 혼합되어 운송 연료 생산을 위해 사용된다. 15-20년 간의 장기 기간을 위해서는 다년생 곡물을 재배하여 일정 기간마다 수확을 한다. 버드나무는 단 기간 회전 벌채 작물의 좋은 예이다. 즉 20-25년 기간동안 매 2-5년 사이에 수확을 할 수 있다. 포플라, Miscanthus, Sweet Sorghum 등도 다년생 작물의 예들로 유럽에서는 많은 관심을 받고 있다. 그러나 에너지 생산을 위한 상업적 사용은 현재까지 미미한 수준이다.

일반적으로 에너지를 위한 특정 바이오매스 생산은 이용 가능한 잔사물이나 폐기물을 사용하는 것보다 비싸다. 북서부 유럽에서는 다년생 목재 작물을 사용했을 때 드는 전형적인 가격은 3-6유로/GJ 이다. (수입 석탄을 사용했을 때는 1-2 유로/GJ 이다.) 바이오매스 생산 비용은 특히 토지이용비, 노동비, 헥타르당 수율 등에 크게 의존한다. 전통적으로 북서부 유럽에서는 토지 비용이 총 바이오매스 생산비용의 1/3에 해당한다.

이러한 것을 기반으로 하여 2020년에 여러 바이오매스에서 얻을 수 있는 바이오 에너지 양에 대한 시나리오를 예상하였고, 그 시나리오들의 최대 최소 범위는 다음과 같다.

폐기물: 1600-2300 PJ

곡물 : 500-3000 PJ

잔사물: 1300-1500 PJ

총량 : 3400-6800 PJ

유럽에서 유기성 폐기물과 임산 잔사물은 가장 큰 잠재력을 가지고 있고 유기성 재생 가능 물질로부터 에너지를 생산하는 분야에 있어 가장 큰 기여를 하고 있다. 전에 언급했던 것처럼, 바이오 에너지의 시장 개발, 자연적인 변화(fluctuation), 경제, 접근 가능성 같은 다양한 요인들이 폐기물 같은 자원들의 기술적, 경제적 잠재성에 영향을 미친다. 그러나 잠재성의 정확한 양을 추산하기는 불가능하다.

유럽연합에서 농업, 임산업, 그리고 다른 용도를 위해 토지를 사용하는 것은 농업 정책과 다양한 보조금에 크게 영향을 받는다. 유럽 연합에서 에너지 작물에 대한 실제적인 잠재력은 이와 같은 정책에 크게 의존하게 된다.

한편, 동구 유럽에서 토지와 노동력에 대한 현재 비용을 고려해보면 에너지 작물 생산은 2유

로/GJ로 매력적인 가격 수준이 될 수 있다. 즉 바이오매스를 대량 생산했을 때 경쟁력 있는 가격 수준이 될 수 있다.

수 십 년에 걸쳐서 바이오매스 공급에 있어 시장의 발전과 바이오매스이용에는 몇 개의 단계가 있는 것이 발견되었다. 여러 다른 국가들이 이들 단계를 따르는 것처럼 보였다.

- i) 제지 산업이나 식품 산업 같은 생산 설비 장소에서 폐기물을 처리하는 것은 일반적으로 바이오 에너지 시스템을 개발하는 시작 단계이다. 자원들은 이용가능하고 종종 이윤을 주고 동시에 폐기물 관리 문제를 해결해 준다.
- ii) 임산 관리와 농업에서 기인한 자원을 지역적으로 이용. 그 같은 자원들은 수집하고 운송하는 것이 비싸다. 그러나 아직까지 경제적으로 가치가 있기 때문에 관련 인프라 개발이 필요하다.
- iii) 지역적 규모에서 바이오매스 시장의 개발 증가하고 있는 연료의 가변성에 대처할 수 있는 대규모 전환 공정을 활용한다 증가하고 있는 평균 운송 거리는 규모의 경제를 더욱 향상시킨다. 바이오매스 공급에 있어 증가하고 있는 비용이 보다 에너지 효율적인 전환 시설을 필요로 하게 한다. 이러한 것을 지원하는 정책이 개발단계에 있다.
- iv) 공급자와 구매자의 수가 증가하고 있는 국가적 규모의 시장의 개발 시장의 창조 시장의 개발에서 창조까지 전과정에 있어 증가하고 있는 복잡성. 향상된 공급 시스템과 시장에 대한 접근성에 기인하여 이용 가능성이 종종 증가하였다. 가격 수준은 균등하게 감소하였다.
- v) 바이오 연료의 국경간 운송 등을 포함하여 시장 규모와 운송거리가 증가 바이오매스 자원의 국제적 교역. 바이오매스는 점점 더 국제적으로 거래되는 에너지 상품이 되고 있다. 어떤 경우에는 국가간의 보조금, 세금, 환경 법규 등의 차이로 인해 갈등도 많이 발생한다.
- vi) 바이오매스 생산은 주로 에너지 생산을 위한 것이다. 이처럼 연료 공급 시스템을 위한 역할이 증가하고 있다. 지금까지 에너지 작물은 농업적 관심과 보조금 등에 기인한 유채나 사탕 무 같은 여분의 식품 작물이었다. 다년생 풀, 포플라, 플랜테이션 산림 등이 최근 다양한 국가에서 주목을 받고 있다.

1.2. 전환 기술: 전력과 열

바이오매스에서 에너지를 생산하기 위해 다양한 기술들이 활용되었다. 열, 전기의 생산과 연료 운송이 여러 기술들을 함께 이용함으로써 가능하다.

1.2.1. 바이오가스 생산

- 혐기성 소화: 잘 확립된 기술로 균일한 젖은 유기성 폐기물과 폐수에 주로 적용된다. 어느 정도는 비균일성 젖은 폐기물에도 사용될 수 있다. 용량은 수 MWe 이다. 효율은 1015% 내외이다.
- 매립 가스: 온실가스 저감에 매우 적합하고 대부분의 유럽에서 폐기물 처리 정책에 포함시키고 있다. 용량은 100sKWe 정도이고 가스 엔진에 사용된다.

1.2.2. 연소

- 열: 전통적인 나무 펄감이 아직도 사용되고 있으나 감소 추세이다. 현대적인 가열 시스템에 의해 대체 중이다.
- CHP(열과 전력의 결합): 주로 스칸디나비아반도 국가와 오스트리아, 독일에 서 이용되고 있으며 현재 규모와 효율이 계속 향상중이다.
- 혼소: 대부분의 유럽국가에서 이용되고 있으며 석탄과 바이오매스를 함께 연 소시킨다. 보통 5-20Mwe 규모이며 더 큰 규모의 플랜트가 예정되어 있다.

1.2.3. 가스화

주로 열과 가스 엔진을 위한 것으로, 열 생산을 위해서는 상업적으로 이용 가능하다. 그러나 그 기여도는 제한적이다. CHP 가스 엔진은 여러가지 시스템이 시장에 나왔으나 가격이 비싸 상대적으로 활용은 제한적이다.

1.2.4. 열분해

열분해를 통해 바이오오일을 생산한다. 바이오오일은 아직까지 상업적으로 이용가능하지는 않고 있으며 전처리를 한 후에 운송연료로 고려되고 있다.

1.3. 전환기술: 운송을 위한 바이오 연료

바이오매스에서 연료를 생산하기 위한 주요 경로는 3가지이다.

1.3.1. oil seeds에서 에스테르를 추출

유채씨 같은 oilseeds에서 추출하여 에스테르로 전환할 수 있다. 이러한 에스테르 물질들은 디젤유를 대신할 수 있다. 유채씨 생산과 연속적인 에스테르화(메탄올을 이용하여 유채씨 메틸 에스테르를 생산)는 유럽에서 잘 확립된 공정이다.

1.3.2. 발효를 통해 에탄올 생산

- 당과 전분으로부터 에탄올 생산: 당과 전분(사탕수수, 옥수수)의 발효를 통한 에탄올 생산은 브라질, 미국, 프랑스 등에서 대규모로 진행되고 있다. 생산된 에탄올을 가솔린과 혼합되어 차량에 이용된다.
- 리그노-셀룰로오스 바이오매스에서 에탄올 생산: 리그노-셀룰로오스 바이오매스를 가수분해하여 에탄올을 생산한다. 미국과 스웨덴에서 다양한 기술을 개발하고 있으나 값싸고 효율좋은 가수분해 공정은 아직도 개발 중이다.

1.3.3. 가스화를 통한 메탄올, 수소, 탄화수소 생산

바이오매스의 가스화를 통해 합성가스를 제조하고 이를 이용하여 메탄올, FT-디젤등을 생산한다.

2. 유럽에서 바이오 에너지에 대한 정책과 전략

유럽 각국에서 바이오 에너지의 현황과 주요 정책 등은 다음과 같다.

2.1. 오스트리아

- 현황: 바이오매스가 국가 에너지 공급량의 11%를 차지. 임산 잔사물이 소규모 난방으로 대부분 사용. 정책 수단은 주로 주 단위로 이용.
- 정책: 개별 난방 시스템과 가스화기에 대한 재정적 지원. 바이오매스를 생산하는 농가에 대한 보조금. 바이오연료에 대한 세금 감면.
- 바이오매스 공급: 주로 임산 잔사물과 바이오디젤을 위한 유채

2.2. 덴마크

- 현황: 임산 잔사물의 이용 뿐만 아니라 120만톤의 볏짚을 이용하는 프로그램 운영중. 대규모의 CHP 플랜트에서 바이오매스 혼소, 바이오매스 잔사물의 구역 난방, 소화.
- 정책: 장기간 에너지 프로그램-바이오 에너지에 대한 보조금을 50%까지 증가. 10년간 관세유예
- 바이오매스 공급: 볏짚과 목재 잔사물 사용

2.3. 핀란드

- 현황: 바이오매스에서 주요 에너지의 20%를 담당. 특히 펄프와 제지 산업이 효율 좋은 잔사물을 공급하여 에너지 생산에 크게 기여. 바이오매스에 대한 정부의 강력한 지지.
- 정책: 에너지 세금 면제, 임산 잔사물 생산을 위해서 임산 소유자에게 재정적 지원
- 바이오매스 공급: 임산 잔사물, black liquor

2.4. 프랑스

- 현황: 특별한 바이오 에너지에 정책은 없으나 에탄올과 바이오디젤 같은 바이오연료와 난방용 바이오매스의 역할을 중요시 한다. 그러나 과거 10년간 성장률은 매우 낮았다. 바이오매스는 재생가능 에너지 생산량의 2/3를 차지한다.
- 정책: 바이오디젤에 100% 세 감면, 바이오에탄올에 80% 세 감면, 투자시 보조금 지급
- 바이오매스 공급: 여분의 시리얼 생산과 유채 생산.

2.5. 독일

- 현황: 재생가능 에너지는 총 에너지 공급의 3%를 차지한다. 바이오매스의 기여도는 현재 300PJ에서 2010년에 800PJ로 늘릴 계획이다. 폐기물 정책은 재사용을 강하게 강조하고 매립을 금지한다.
- 정책: 바이오연료에 대한 세금 감면, 보조금을 100%까지 지급, 비싼 연료비에 대한 지원, 다양한 R&D 프로그램 제공

3. 결론

유럽 연합에서 바이오 에너지에 대한 야망은 높아서 2010년에는 6000 PJ을 2010 이후에는 더 많은 에너지를 생산하고자 한다. 바이오 에너지는 유럽에서는 가장 중요한 재생가능 에너지 원이다.

만약 유럽이 전력 생산, 차량 운송, 재생가능원료 사용에 의한 녹색화학 등을 위해 대규모의 바이오 에너지를 실현하고자 한다면, 바이오매스 공급에 대한 총 수요는 매우 높아지게 될 것이다. 또한 이용가능한 바이오매스 자원의 대체 사용을 통한 경쟁이 여러 문제와 한계점을 노출시키게 될 것이다. 잔사물과 폐기물의 제한된 잠재력을 고려했을 때 에너지 작물을 사용한 대규모 생산이 필요하다. 명백하게 SRC willow, 포플라, Miscanthus 같은 풀 다년생 작물이 기존의 전통적인 작물에 비해 경제성과 생태적 특성이 우수하여 중요한 역할을 담당하게 될 것이다.

바이오 에너지를 더욱더 개발하기 위한 여러 가지 포트폴리오를 고려해 볼 때, 주요한 문제는 바이오 에너지가 틈새시장에만 머무르지 않고 향상된 효율과 특히 비용 효율이 높아져야 한다는 것이다. 이를 위해 대규모 시설과 발전된 전환 기술 등이 필요하다. 예를 들면 BIG/CC 기술, 진보된 혼소 기술, 합성가스에서 바이오연료의 생산, 리그노-셀룰로오스 바이오매스에서 에탄올 생산 등이다.

정책적인 면에서 바이오 에너지는 농업, 임산업, 폐기물 처리와 같은 다른 정책 분야와 상호 혼합된 특성을 갖고 있어서 통합적 전략이 요구된다. 예를 들어 바이오매스에 대한 수요 증가는 전통적인 임산 분야와 식량 생산등과 경쟁할 것이므로 이를 아우르는 정책이 필요하다.

References

1. A.P.C. Faaij, Energy Policy, 34 (2006) 322.
2. P. Borjesson, Biomass and Bioenergy, 16 (1999) 137.