



# 바이오매스를 이용한 전력 생산 기술 동향

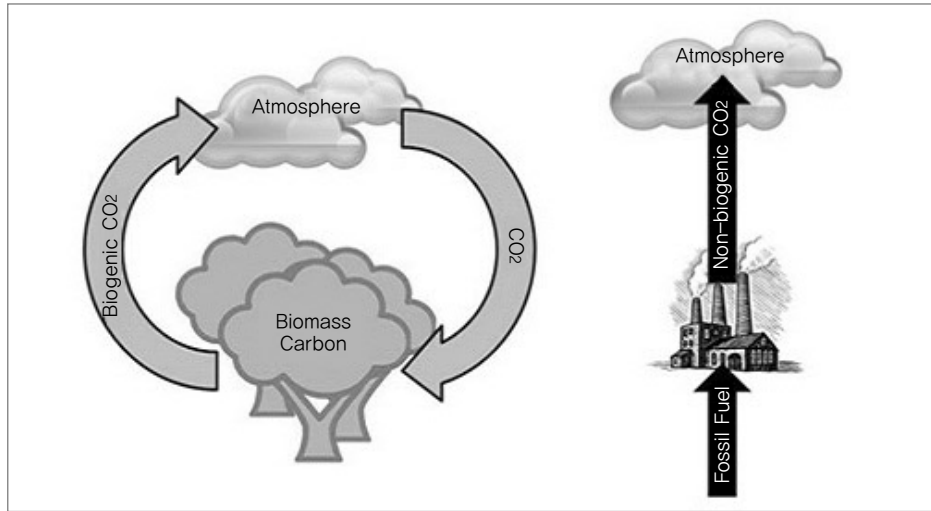


박 정 극  
한전 전력연구원 선임연구원

## 1. 개 황

글로벌 경제의 화석에너지 의존도는 1차 에너지 기준  
으로 85%에 달하며 화석에너지에 의한 온실가스 배출

기여도는 전체의 56.6%에 이르고 있어 화석에너지  
이용에 따른 기후 변화 문제가 심각하게 대두되고 있다.  
바이오매스와 같은 대체에너지 활용을 통해 온실가스  
배출을 줄여 지구 평균 기온 상승폭을 제한하여 기후

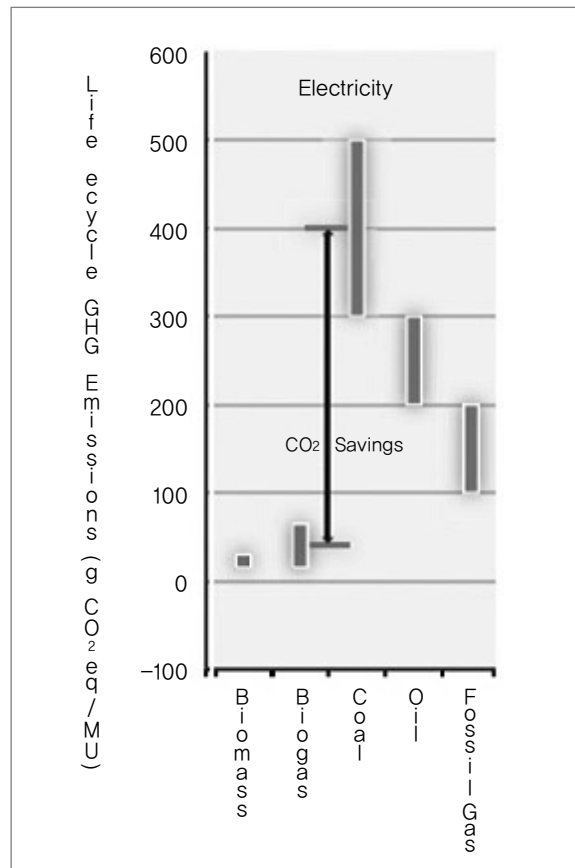


[그림 1] 바이오매스와 석탄 화력의 탄소 사이클 비교

변화 문제를 해결하고자 하는 노력이 전 세계적으로 추진되고 있다.

바이오매스는 수력에너지와 함께 가장 전통적인 재생 에너지로 기술성숙도가 높아 활발하게 이용되고 있다. 바이오매스란 일반적으로 태양에너지를 받은 식물과 미생물의 광합성에 의해 생성되는 식물체·균체와 이를 먹고 살아가는 동물체가 포함된 생물 유기체를 뜻한다. 바이오매스는 대기 중 탄소를 소모하는 광합성 반응에 의해 생성되므로 바이오매스의 활용이 지구 온난화에 추가적으로 기여하지 않는데 이를 탄소 중립성(Carbon Neutral)이라 한다. 그림 2<sup>1)</sup>는 발전 공정에서 전주기적 온실가스 배출량을 연료별로 비교한 것으로 바이오 에너지를 이용할 경우 석탄 이용 대비 온실가스 배출량은 약 90% 정도가 저감된다.

2010년 기준 전 세계 바이오매스 발전 용량은 62GW에 달한다. 미국의 바이오매스 발전 용량은 10.4GW로 세계에서 가장 높고 2010년 한 해 동안 48TWh의 바이오매스-전력이 생산되었다. 유럽 연합의 2009년 바이오



[그림 2] 화석에너지 대비 바이오에너지의 온실가스 배출량

1) IPCC, 2012, Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation.

매스-전력 생산량은 87.4TWh (2008년에 비해 10.4% 증가)인데, 이중 독일의 기여도가 약 30%에 이른다.

또한, 독일의 2010년 바이오매스 발전량은 28.7TWh (전체 전력 소비량의 5.5%)로 이는 430만 가구에 전력을 공급할 수 있는 양에 해당한다.<sup>3)</sup>

우리나라의 경우에도 폐기물과 바이오매스를 이용한 에너지 공급 비중을 2006년 1.82%에서 2030년까지 국가 전체 공급량의 7.12%까지 높이겠다는 정책이 추진되고 있다.<sup>4)</sup>

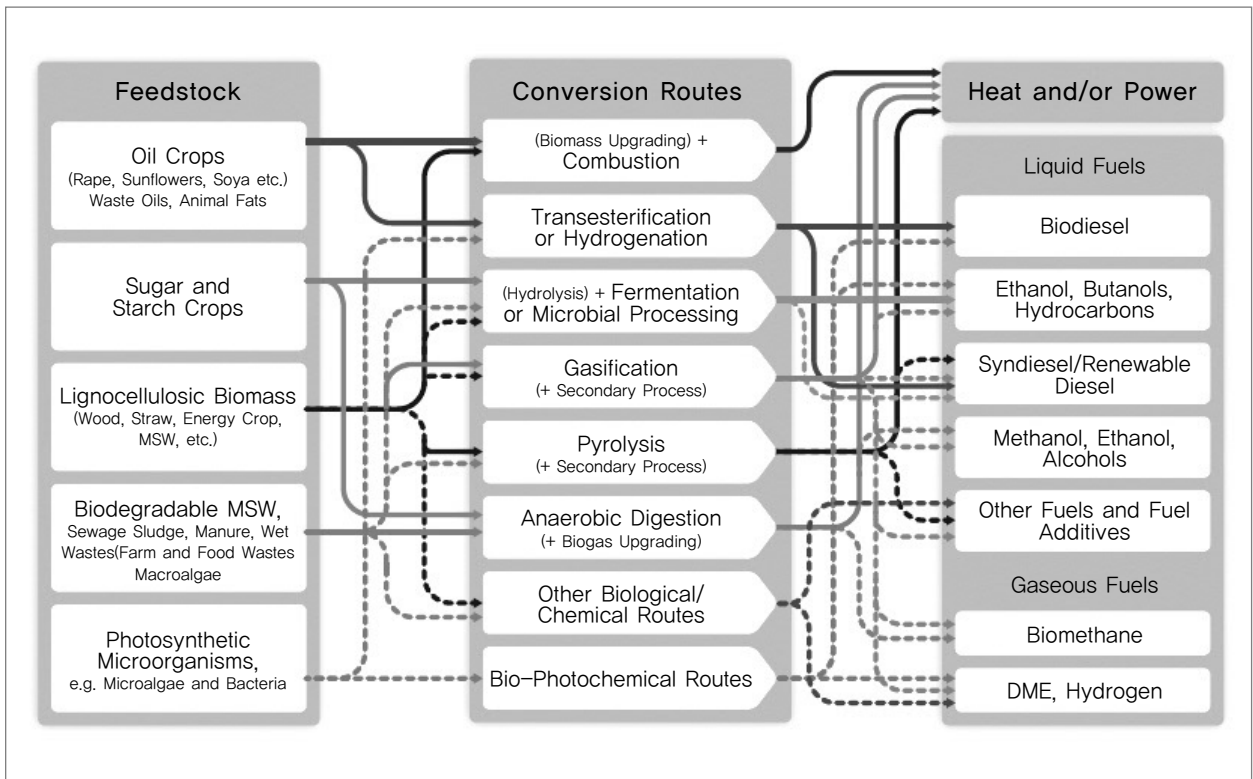
## 2. 현황

### 가. 바이오매스 분류 및 바이오매스 에너지 전환 기술 종류

바이오매스의 정의에서 파악할 수 있는 것과 같이 바이오매스와 바이오에너지의 범위는 매우 넓다.

즉, 에너지 전환에 사용될 수 있는 바이오매스의 물성은 종류에 따라 크게 다르며 따라서 원료별 에너지 전환 기술 또한 매우 다양하다.

그림 3<sup>5)</sup> 은 바이오매스 및 바이오매스의 에너지 전환 기술 종류를 간단하게 정리한 것이다. 실선은 이미 상용화된



[그림 3] 바이오매스 원료 및 에너지 전환 경로의 구분

2) CCS(Carbon Storage and Capture) 기술을 적용하는 경우 순 온실가스 배출량은 - 값을 가진다.

3) REN21, 2011. Renewables 2011 Global Status Report.

4) 교육과학기술부, 행정안전부, 농림수산식품부, 지식경제부, 환경부, 국토해양부, 산림청, 2009, 저탄소에너지 생산·보급을 위한 『폐자원 및 바이오매스 에너지 대책』 실행 계획.

5) IPCC, 2012, Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation.

경로이며 접선은 현재 연구·개발 중인 경로이다. 원료(Feedstock)는 크게 기름 작물(대두, 유채 등)과 관련 폐기물, 당/전분계 작물, 목질계 바이오매스(밀짚, 목재 등)와 관련 폐기물, 생분해 폐기물(하수슬러지, 분뇨 등), 광합성 미생물(미세조류 등)로 구분된다. 이들 원료를 이용한 에너지 전환 기술은 크게 열화학방법(연소, 가스화 및 열분해), 생물화학적 방법(혐기성소화 및 발효), 화학적 방법(전이에스테르화)으로 구분되며, 최근에는 혐기성 미생물 소화 과정에서 전기를 생산하는 기술인 생물전기 화학적 방법(Bioelectrochemical)도 새롭게 연구되고 있다.

다양한 바이오매스의 에너지 전환 경로에서 얻어지는 부산물을 이용하여 열과 전력을 얻을 수도 있으며, 경로의 결과물로서 바이오디젤, 에탄올과 같은 액체 연료와 바이오메탄 등의 기체 연료를 생산할 수도 있다.

앞서 언급된 다양한 바이오매스 에너지 전환 공정 중 발전 분야와 관련된 기술 경로들을 조금 더 자세히 살펴보면 다음과 같다.

대표적인 생물화학적 방법인 혐기성소화 공정에서는 유기물로 구성된 바이오매스가 가수분해, 산생성 및 메탄 생성 단계를 거쳐 최종적으로 CH<sub>4</sub>과 CO<sub>2</sub>가 생성되거나 산 생성 단계에서 유기산 생성의 부산물인 H<sub>2</sub>가 회수될 수 있다. 이 때 생성되는 H<sub>2</sub>는 바이오수소가 되며 최종적인 CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>가 주성분인 가스 혼합물은 바이오가스가 된다. 바이오가스는 수분, H<sub>2</sub>S, 실록산 화합물을 제거하여 발전 연료로 사용하거나 바이오메탄화하여 자동차 연료 또는 가스망 주입 등에 활용될 수 있다. 바이오가스 발전이 가장 발달한 독일의 경우 2010년 기준 발전 용량이 약 2,780MW<sup>6)</sup>로 국내 바이오가스 발전 용량의 약 100배에 달한다.

발효 및 전이에스테르화 공정은 바이오디젤, 바이오

에탄올 등 수송용 연료 생산과 주로 연관된다. 이들 연료들은 가스터빈 등 발전 설비에 적용은 가능하지만 경제성 측면에서 볼 때 적용성은 낮다고 할 수 있다.

대용량 발전 플랜트와 관련된 바이오매스의 에너지 전환 방법은 연소, 열분해, 가스화로 구분되는 열화학적 기술이다. 열화학적인 에너지 전환에 사용되는 바이오매스는 공정에 따라 차이가 있지만 건조, 탄화(Torrefaction) 또는 가공 등의 전처리를 거치게 된다. 바이오매스의 전처리는 직접 연소에 방해가 되는 수분의 제거, 탄소/산소 비율 제고는 물론 연료 공급을 위한 형상 변화 등을 포함하며 열분해 및 가스화 공정을 위해서도 필요한 작업이다.



[그림 4] 목재칩의 탄화 전(우)과 탄화 후(좌)의 비교

기존 석탄 화력 발전소에서의 바이오매스 혼소는 효율과 비용 측면에서 가장 현실적인 대안이 될 수 있다. 일반적으로 바이오매스의 연소 효율은 동일 설비에 대해 약 10% 정도 낮지만 대형 석탄 화력의 혼소 효율이 바이오매스 전소 플랜트에 비해 높다. 에너지 투입량 기준으로 5~10%의 바이오매스 혼소 비율까지는 취급 설비의 일부 개조만 필요하며 그 이상의 경우에는 필요에 따라 미분기, 버너 및 건조기의 개조가 수반되어야 한다.

네덜란드 Amer 발전소의 바이오매스 혼소비는 20%에 달하며 주로 펠릿과 팜유와 올리브유 생산 공정의 부산물을 이용한다. 다수의 사례에 비춰볼 때 근거리에서 발생하는 저비용 바이오매스를 이용할 경우 투자비 회수는 2년 정도에 가능하지만 저품위 바이오매스를 사용할 경우

6) Observer, 2011, The State of Renewable Energies in Europe-11th EuroObserver Report

타르의 생성, 슬래깅과 파울링 유발 등 유지·보수 비용이 증가할 수 있다. 바이오매스 전용 플랜트의 규모(1~100 MW)는 기존 석탄 화력에 비해 작다. 따라서 kW당 투자 비용이 석탄 화력 발전소에 비해 두 배가 넘고 효율 또한 30% 정도로 낮은 편이다.

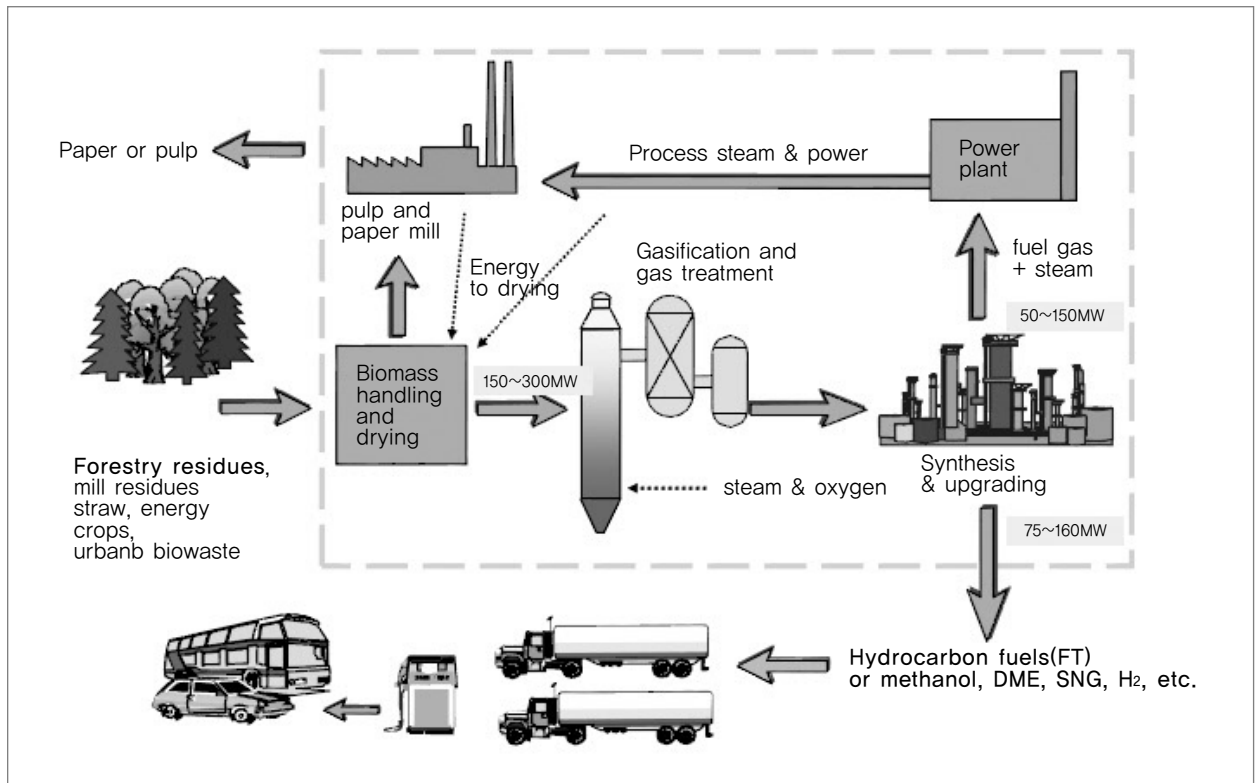
한국동서발전(주)는 유동층 발전소에서의 폐목재 혼소를 수행한 바 있으며, 30MW 규모의 바이오매스 전소 발전플랜트 건설을 추진 중에 있다.

열분해와 가스화는 거의 유사한 공정인데 일반적으로 산소가 없는 상태에서의 반응을 열분해, 제한된 양의 산소가 공급되는 상태에서의 반응을 가스화라 하여 구분한다. 열분해의 일차 생산물은 바이오오일로 수송용 연료 생산에 주로 적용된다. 상대적으로 발전 분야와 직접적으로 연관될 수 있는 바이오매스의 가스화는 그림 5에 나타난 바와 같이 합성가스의 생산은 물론 전력/열원 제공 및 가스연료 생산(SNG/H<sub>2</sub>), 액체연료 생산(BTL)

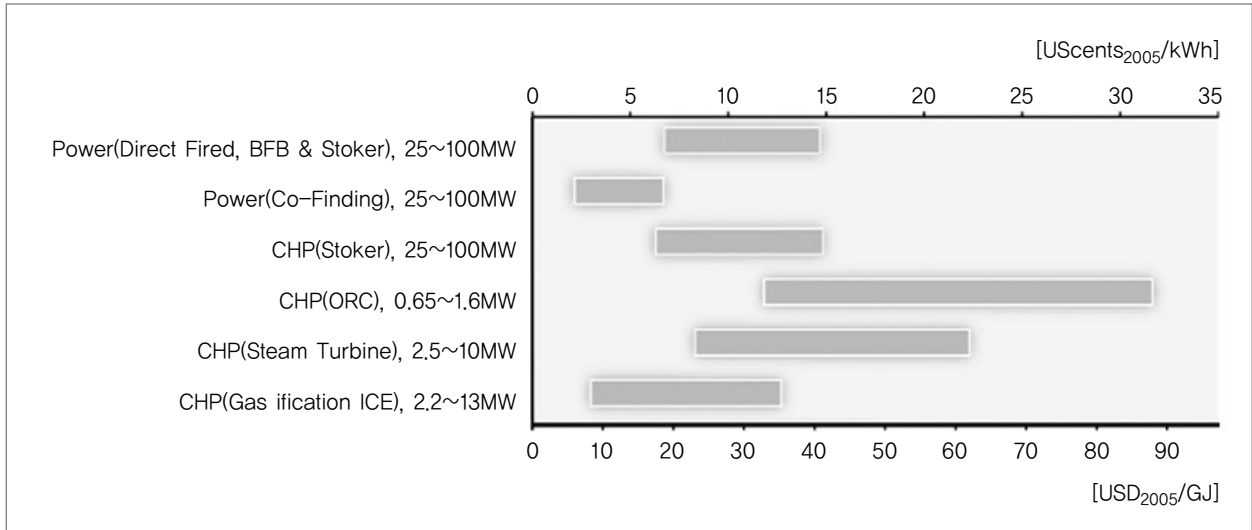
등에 활용될 수 있다. 또한, 합성가스 자체를 가스 연료로 가스터빈 및 가스엔진에 적용하여 전력 생산에 활용할 수 있다. 바이오매스 가스화 공정은 석탄 등 화석연료의 가스화 플랜트를 상용화한 유럽과 미국이 주도적으로 기술 개발 및 상용화를 위한 노력을 하고 있다. 특히, 유럽 연합 8개국은 공동으로 Chrisgas 프로젝트를 통해 스웨덴 Värnamo에 18MWth 용량의 BIGCC 플랜트를 개발하고자 하는 연구를 수행하였다.

이 외에도 Lurgi, VTT/Bioneer, Cortus, Silvagas 사 등이 다수의 플랜트를 공급하였으며, 독일의 CHOREN사와 UDHE사가 프랑스에 수십MWth 규모의 추가 건설 계획을 가지고 있는 등 용량 규모가 크게 증가할 전망이다.

국내에서도 생산기술연구원이 1t/d의 바이오매스 가스화 설비를 개발 완료하고, Scale-Up 및 이용 다변화 기술 개발 등의 연구 과제를 수행 중에 있다.



[그림 5] 바이오매스 가스화를 통한 바이오매스의 에너지 전환 개념도



[그림 6] 다양한 바이오매스-전력 생산 기술의 발전 단가

### 나. 바이오매스 발전의 경제성

바이오매스-전력 생산 확대에 있어 가장 큰 걸림돌은 경제성이다. 바이오매스의 원료 및 에너지 전환 공정의 다양성 때문에 경제성 관련 지표들은 출처에 따라 큰 차이를 보이며 상호 비교 또한 어렵다. 그림 6<sup>7)</sup>은 각종 바이오매스-전력 생산 기술에 대한 발전 단가에 대한 그래프이다.

석탄 혼소에 대한 발전 비용이 0.029~0.053 USD<sub>2005</sub><sup>8)</sup>로 가장 낮았다. 또한, 유기성폐기물의 혐기성소화를 통한 발전의 경우 발전 단가가 0.17~0.21 USD<sub>2005</sub>/kWh에 이른다. 그리고 IEA에서 밝힌 IGCC (용량 : 10~30MW, 효율 : 30~40%)의 발전 단가는 0.11~0.13 USD/kWh 수준이다.<sup>9)</sup> 앞서 언급된 바와 같이 석탄 화력에 비해 용량이 낮은 이유로 자본 비용과 발전 비용은 상당히 높은 편이지만 이를 낮추기 위한 다양한 노력들이 시도되고 있다.

### 3. 전망

IEA는 World Energy Outlook 2011에서 발전분야에 근본적인 변화가 도래하고 있으며, 발전분야의 화석 연료 비중은 크게 낮아지는 대신 신재생에너지 발전 비중은 2008년 19%에서 2035년에는 전체의 1/3에 달할 것으로 전망하였다. 바이오매스를 에너지 전환에 활용하는 것은 재생에너지 개발 확대 그리고 폐기물 배출 저감과 온실가스 배출 저감에 크게 기여할 수 있다. 앞서 살펴본 다양한 바이오매스의 에너지 전환 기술의 발전은 전력 분야에 큰 변화를 가져올 것으로 전망된다.

바이오매스 에너지 전환 플랜트의 용량은 아직 전통적인 방식의 플랜트에 비해 크게 부족하지만 기술 포트폴리오 및 원료의 적극적 확보 노력이 합쳐진다면 온실가스 배출 저감 및 새로운 수익 창출에 크게 이바지할 수 있을 것이다. KEA

7) IPCC, 2012, Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation.

8) 2005년 미국 달러 가치로 환산한 값

9) IEA, 2007, IEA Energy Technology Essentials - Biomass for Power Generation and CHP