

산림바이오매스 에너지 개발 연구 현황



조 성 택
국립산림과학원
chost@forest.go.kr



이오규
국립산림과학원
oklee@forest.go.kr



이수민
국립산림과학원
lesoomin@forest.go.kr

□ 서언

요즘은 이상기후로 인한 뉴스가 많이 생기고 있다. 얼마 전 중국 양쯔강 중상류에서는 2주째 폭우로 1억명 이상의 이재민 발생과 30조원의 재산피해가 발생한 반면 남미에서는 흑한으로 인해 브라질 해안에 500여 마리 마젤란 펭귄이 동사하는 등 연일 지구온난화와 관련된 소식들이 끊이지 않고 우리의 귀를 혼란스럽게 한다. 지구온난화의 주범은 여러 가지가 있지만 과학자들은 특히 화석연료 사용으로 발생하는 이산화탄소에 주목하고 있다. 과거 150년 전에 대기 중 이산화탄소 농도가 280ppm 이었던 것이 현재는 360ppm으로 증가하였으며, 최근 20년 사이에 급격히 30ppm 증가하여 지구온난화를 가속화 시

키고 있다. 한편 우리나라의 이산화탄소 배출량은 세계 무역 수출순위와 더불어 세계 9위를 차지한다.

세계 각국에서는 화석연료 대신에 대기 중 이산화탄소 농도를 증가시키지 않는 신·재생에너지 사용을 적극 권장하고 있다. 물론 산림바이오매스와 같은 바이오매스를 연소시켜 에너지로 사용하면 이산화탄소가 발생한다. 그러나 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)에서 산림바이오매스 에너지를 이산화탄소 중립의 에너지로 규정하였다. 그와 같은 이유는 (그림 1)과 같이 산림바이오매스를 사용하여 발생하는 이산화탄소는 다시 산림에서 흡수하여 산림바이오매스로 저장하는 순환 사이클을 형성하는 청정에너지이기 때문이다.



그림 1. 산림바이오매스의 에너지 이용과 탄소순환

□ 산림바이오매스 고품연료

1. 목질계 고품연료의 특징

목질계 고품 바이오연료는 농경지에 재배하여 생산되는 옥수수, 콩과 같은 작물과는 달리 식량 문제를 야기하지 않는다. 광합성에 의한 유기물 생산효율은 산림이 0.91%로 다른 것보다 높으며 에너지 축적량은 석유매장량의 7배에 해당하는 $7.4 \times 10^{18} \text{kcal}$ 를 갖는다. 산림바이오매스는 재생산 가능한 이산화탄소 중립의 청정에너지라는 장점을 가지고 있다. 반면에 분포하고 있는 지역이 넓으며, 부피가 크고 석유보다 적은 $4,500 \text{kcal}$ 의 단위 발열량을 가지고 있으며, 물리·화학적으로 안정되어 처리 비용이 많이 드는 단점이 있다. 우리가 현재 사용하고 있는 목질계 고품 바이오연료 종류는 예전부터 사용하였던 장작과 숯이 있으며 새로이 각광을 받고 있는 목재칩(wood chip), 목재펠릿(wood pellet)과 목재브리켓

(wood briquette) 등이 있다. 이 중 산림청에서 보급사업으로 추진하고 있는 목재펠릿을 중심으로 소개하고자 한다.

2. 목재펠릿의 특성 및 품질

목재펠릿은 산림부산물이나 제재소 부산물인 톱밥을 건조 분쇄하여 일정한 크기로 압축 성형한 원통형의 고밀화된 목재 연료이다. 목재펠릿의 성상은 직경 6~8mm, 길이 38mm이하 이고 겉보기밀도는 640kg/m^3 , $4,500 \text{kcal}$ 의 발열량을 갖으며 회분 1%미만의 목재 성형연료이다. 목재펠릿의 특징은 소형 연소기에도 사용할 수 있고 연소기에 연료를 자동 공급할 수 있으며, 고체 화석연료를 대체할 수 있는 연료라는 점이다. 또한 아황산가스와 같은 유해물질을 배출하지 않으며 바이오디젤과 같이 식량문제에 영향을 주지 않는 친환경 연료이다. 또한 같은 고품연료인 목재칩과 비교하였을 때 목재칩은 목재를 단순히 가공하므로 가격이 저렴하나 함유율이 높아서 원료 저장시설이 필요한 중·대형 난방 시설에 적합한 반면에 목재펠릿은 건조 가공 처리하여 단위 부피당 발열량 높아 운반비가 적게 들며, 자동공급이 용이한 소형난방시설에 적합하다. 2010년 6월 현재 목재펠릿의 소비자 도착가격은 39만원/톤으로, 경유의 53%, 보일러 등유의 76%로 현저히 저렴하나 일부 농가에서는 면세 경유 등에 비교하여 비싸다는 잘못된 인식이 있다.

3. 목재펠릿 공급 정책

2009년에 3개 공장에서 목재펠릿을 8,463톤 생산하였으며, 12,000톤을 수입하였다. 목재펠릿 보일러는 3000대를 보급하였다. 국내 목재펠릿 수급 전망으로 2012년에 농가주택 4만호와 시설원에 8.3%를 대체하는

것으로 75만톤이 소요될 것으로 예측되나 국내 생산은 40만톤에 달할 것 전망된다. 2020년에는 농가주택 14만호와 시설원에 37%를 대체할 것으로 500만톤의 수요가 발생될 전망이며, 이중 100만톤은 국내에서 조달하고 나머지 400만톤은 해외조립 등 현지 생산을 통하여 수입 공급될 것으로 전망한다. 목재펠릿 공급 정책을 실현하기 위한 구체적인 방법으로 숲가꾸기를 10ha이상 집단지화하며, 간벌률을 20%에서 35%로 상향하고, 기계화 작업률을 15%에서 30%로 높여서 산물 수집률을 현재의 20%에서 30%로 높여 안정적인 원료를 공급 할 계획이다. 또한 중장기적으로 목재펠릿 원료의 안정적 공급을 위하여 백합나무 등 속성수로 바이오순환림을 2020년까지 10만ha를 조성할 계획이다.

목재펠릿 수요확대를 위하여 산림청에서는 펠릿 보일러 설치비를 70%(국비 30, 지방비 40%)보조하여 2010년 4천대, 2012년까지 39천대의 펠릿 보일러를 보급할 계획이다. 시설원예용 난방 설치비도 농림수산부에서 60%보조하여 2010년에 160ha, 2011년에 502ha, 2012년까지 1,164ha를 설치할 계획이다. 마을회관, 휴양림, 수목원, 군부대 등 공공시설에도 난방시설을 펠릿 보일러로 교체할 계획이다. 또한 경북 봉화에 조성중인 탄소순환마을과 같이 펠릿 보일러를 중앙난방식으로 사용하는 탄소순환마을을 2014년까지 14개소 조성할 계획이다. 신·재생에너지 의무할당제(RPS)가 2012년부터 시행되는 것과 함께 1000m²이상의 신축, 증·개축 공공시설은 에너지사용량의 10%이상을 신·재생에너지 사용하여야 한다는 신·재생에너지법이 개정되면서 태양광, 풍력, 지열 등의 신·재생에너지에 비해 경쟁력 있는 목재펠릿에 대한 수요가 폭발적으로 증가될 것으로 예상된다.

4. 해외 목재펠릿 생산과 소비

FAO는 세계의 목재펠릿 생산량을 2007년에 1,010만톤으로 추정하고, 이중 유럽에서 60%이상 생산하고 80%이상을 소비하였으며, 금후 2020년까지 생산과 소비가 매년 30%이상 증가하여 1억5천만톤의 수요가 있을 것으로 전망하고 있다. 선진국의 목재펠릿 사용 형태는 난방과 발전용으로 구분되며 대부분 난방용으로 사용된다. 네덜란드, 스웨덴, 벨기에, 덴마크 등 4개국은 발전용으로 펠릿을 활발히 사용하는데, 이는 다른 고품 연료보다 에너지 밀도가 높아 운송비가 싼 목재펠릿을 수입하기 때문인 것으로 판단된다.

목재펠릿을 발전용으로 사용하는 예를 들면, 네덜란드의 Amer발전소는 원료를 저렴하게 배로 운반할 수 있는 부두에 건설된 발전소로 석탄사용량의 20%인 30만톤을 목재펠릿 등 바이오매스자원을 연료로 석탄과 혼합하여 사용한다. 또한 미국의 Green Circle Bio Energy 공장은 철도와 항구가 연결하기 쉬운 코튼테일시에 위치하여 연간 56만톤의 목재펠릿을 생산하면서 소요되는 에너지의 대부분도 탄소중립의 신·재생에너지를 사용하는 것으로 알려져 있다.

이제는 많이 들어서 생소한 단어가 아니라고 생각되는 CHP(Combined Heat and Power)라는 말은 우리말로 번역하면 열병합발전소라고 할 수 있다. 세계 최대 목재펠릿 생산국이며 소비국인 스웨덴이 새로운 개념의 CHPP(Combined Heat and Power, Pallet)을 도입하여 공장을 건설하면서 더욱 경쟁력 있는 시스템을 갖추고 있다. 바이오매스 재생에너지를 원료로 전력만을 생산하였을 때 (그림 2)와 같이 35%의 효율, 전력생산과 열을 공급하는 CHP 형태로 하였을 때 효율이 88%이지만 여기에서 발생되는 폐열을 활용하여 목재펠릿 공장을 가동하면 98%의 효율을 갖는다고 한다. 개략적인 공

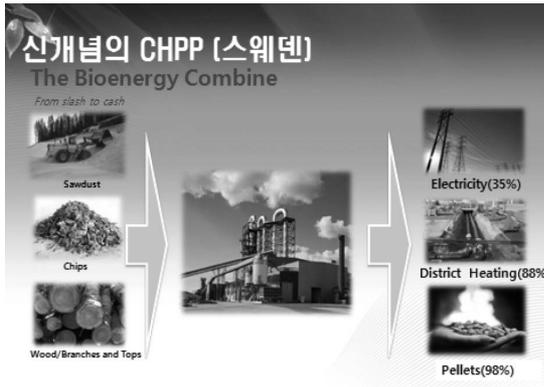


그림 5. 신개념의 CHPP

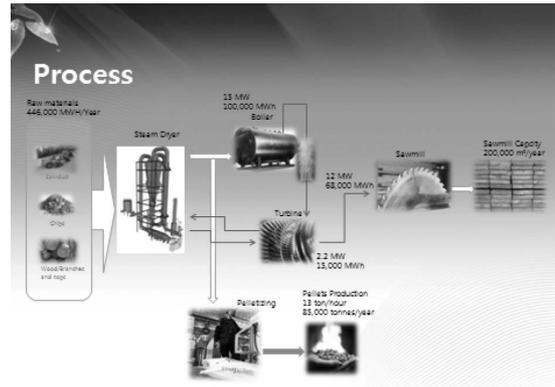


그림 6. CHPP 공정 모식도

Hedensbyn

Commissioned in 1996

- ◆ Bioenergy Combine
 - 98 MW CFB Steam Boiler
 - 34 MW Steam Turbine
 - 24 ton/hour Biopellets
- ◆ Annual Production:
 - 260 GWh District Heating
 - 170 GWh Electricity
 - 130,000 ton Biopellets



Storuman

Commissioned in 2008

- ◆ Bioenergy Combine
 - 32 MW CFB Steam Boiler
 - 8 MW Steam Turbine
 - 16 ton/hour Biopellets
- ◆ Annual Production:
 - 40 GWh District Heating
 - 48 GWh Electricity
 - 105,000 ton Biopellets



그림 7. CHPP 적용 공장 사례

정도는 (그림 3)과 같으며, 실제로 (그림 4)와 같이 열병합발전을 하면서 시간당 24톤과 16톤의 목재펠릿을 생산하는 공장을 준공하여 가동 중에 있다.

5. 해외 목재펠릿 규격

1995년 미국은 펠릿연료협회(Pellet Fuels Institute, PFI)는 가정용 펠릿연료에 대한 표준을 제정하였다. 표준은 구속받지 않는 비공식 추천 규정이며, 연료품질보증은 펠릿 제조업자에 대한 의무이다. 두 가지 연료등급인 고급(premium)과 표준급(standard)에 대해 5가지 연료특성을 규정하고 있다. 형상은 우리의 품질규격과 유사하다. 회분 함량은 프리미엄급이 1% 이하로 우리의 1등급 0.7%보다 높으며, 표준급 3% 이하는 우리의 3등급과 같다. 특이한 것은 수용성 나트륨을 300ppm 미만으로 규정하고 있으며 최근에는 목재펠릿 품질을 4등급으로 세분화하는 계획을 하고 있다.

캐나다는 Environmental Choice Program 의 EcoLogo 인증규정 CCD-74에서 고체연료에 규정하고 있으며 목재펠릿 품질은 미국 PFI의 규격으로 인증하고 있다.

일본은 2005년까지 3개 단체에서 각각의 목재펠릿에 대한 품질기준을 제정하였다. 펠릿클럽(NPO)의 목재펠릿연료에 관한 펠릿클럽 자주 규정(2005. 4. 25.), (재)일본연소기기검사협회의 목질계 바이오매스펠릿의 기준(2004. 4. 1.) 이와테(岩手)현의 목질펠릿 규격안(2004. 3.)이 있다. 그러나 2005년에서 2006년 사이에 전국조직을 운용하기 위한 통일 규격인 '목재펠릿 품질 규격안'을 제정하였다. 형상은 우리의 것과 비슷하나 품질기준은 우리의 것보다 단순하고 회분은 다소 느슨한 1%미만, 1~2%, 2~8%미만의 3종으로 규정하고, 발열량은 고위 발열량으로 16.9MJ/kg이상의 1종으로 규정

하고 있다.

EU는 유럽 표준화 위원회(CEN: European Committee for Standardization)에서 유럽 잠정규격에 해당하는 CEN/TS 14961의 펠릿규격에는 품질 표시 항목(normative properties) 및 품질 표시 권장항목(informative properties)으로 구분하고 있다. 품질 표시 항목은 직경과 길이를 나타내는 형상, 함수율, 회분, 황 함량, 내구성, 첨가제 및 질소 함량 등이 있으며, 품질 표시 권장항목은 발열량 또는 에너지 밀도, 겉보기 밀도와 염소함량 등이 있다. 치수는 5종으로 구분하고 직경 6mm이하 이며 길이는 직경의 5배 이하, 직경 8mm이하, 10mm이하, 12mm이하, 25mm이하 이며 길이는 직경의 4배 이하로 분류하고 있어 우리 것 보다 다소 세분화되어 있다. 함수율은 10%이하, 15%이하, 20%이하의 3등급으로 분류되어 있어 우리의 10%이하와 15%이하보다는 허용 범위가 넓으며, 회분은 우리와 비슷한 0.7%이하부터 6%이하까지는 같으나, 보다 넓게 산업용으로 이용할 수 있는 6%이상의 것이 포함되어 있다. 미세분은 1%이하와 2%이하는 우리 것과 동일하나 2%이상의 등급도 포함되어 있다. 내구성은 97.5%이상, 95%이상, 90%이상의 3등급으로 우리 것보다 폭 넓게 규정하고 있다. 유해 화학성분은 황과 질소를 규정하고 있다. 황 함량은 0.05%이하, 0.08%이하, 0.10%이하 및 0.20%이상 실제 함량을 표시하도록 하고 있어, 우리의 0.05%이하보다 세분화되어 있다. 질소 함량은 0.3%이하, 0.5%이하, 1.0%이하, 3.0%이하 및 3.0%이상은 실제 함량을 표시하도록 하고 있어, 우리의 0.3%이하보다 세분화되어 있다. 첨가제는 종류와 양을 표시하도록 하고 있다. 품질 표시 권장항목인 발열량 또는 에너지 밀도, 겉보기 밀도와 염소함량은 최종 판매자가 표시하도록 하고 있으며, 발열량과 겉보기 밀도는 기준치가 없

어 우리의 목재펠릿 품질 규격에 기준치를 정한 것과는 다소 차이가 있다. 염소함량은 0.03%이하, 0.07%이하, 0.10%이하와 0.10%이상은 실제 함량을 표시하도록 구분하고 있어, 우리의 0.05%이하보다 세분화되어 있다.

중국은 국가규격은 없는 것으로 파악되나, 북경시 지방표준에 목재펠릿을 생물질성형연료 중 하나로 분류하여 형태, 원료, 성형, 품질 및 공업분석에 의한 품질분석을 포함하고 있으며, 특히 원료에 각종 농업 폐기물을 분류하여 포함하고 있다.

6. 국내 목재펠릿 품질 규격

목재펠릿 품질규격은 6개조로 이루어져 있으며, 제1조 적용범위, 제2조 용어의 정의, 제3조 사용원료, 제4조 목재펠릿의 종류, 제5조 품질 및 품질시험 기준, 제6조 품질 표시 및 기재 방법 등으로 구성되어있다. 목재펠릿의 품질은 12개 항목의 4등급으로 구분되어 있다. 1등급과 2등급은 가정용보일러에 적합한 품질 등급이며 3등급과 4등급은 중대형의 보일러나 산업용으로 사용할 수 있는 정도의 품질 등급이다. 2010년 7월 26일 개정된 임업진흥촉진법에 의하여 목재펠릿 생산자나 수입업자가 의무적으로 자사의 품질을 표시하여야 하는 품질의무표시 품목으로 되었다.

국내 생산 및 수입 펠릿을 적용범위에 포함하고 있으며, 용어의 정의에 ‘목재펠릿’, ‘유해물질에 의해 오염되지 않은 목재’, ‘압축성형’, ‘겉보기 밀도’, ‘함수율’, ‘회분’, ‘미세분’, ‘내구성’, ‘발열량’, ‘기타첨가물’ 등 10개 항목에 대한 정의를 하고 있다. 사용원료에 건전한 목재로부터 기인된 원료를 사용하도록 하였으며, 목부펠릿, 수피펠릿, 일반펠릿 등 3종의 목재펠릿으로 구분하였다. 품질 및 품질시험 기준과 시료 채취방법을 설명하였으며, 12개 항목의 품질시험 방법과 품질기준에 따

른 등급을 4등급으로 분류하였다. 목재펠릿 품질 기준은 (표 1)과 같다.

표 3. 목재펠릿 품질 기준

| 특성 | 단위 | 1급펠릿 | 2급펠릿 | 3급펠릿 | 4급펠릿 |
|--------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 크기(지름) | mm | 6-8 | 6-8 | 6-8 | 6-25 |
| 크기(길이) | mm | ≤32 | ≤32 | ≤32 | ≤32 |
| 겉보기밀도 | kg/m ³ | ≥640 | ≥600 | ≥550 | ≥500 |
| 함수율 | % | ≤10 | ≤10 | ≤15 | ≤15 |
| 회분 | % | ≤0.7 | ≤1.5 | ≤3.0 | ≤6.0 |
| 미세분 | % | <1.0 | <1.0 | <2.0 | <2.0 |
| 내구성 | % | ≥97.5 | ≥97.5 | ≥95 | ≥95 |
| 발열량 | kcal/kg (MJ/kg) | ≥4,300 (≥18.0) | ≥4,300 (≥18.0) | ≥4,040 (≥16.9) | ≥4,040 (≥16.9) |
| 유황분 | % | <0.05 | <0.05 | <0.05 | <0.05 |
| 염소분 | % | <0.05 | <0.05 | <0.05 | <0.05 |
| 질소분 | % | <0.3 | <0.3 | <0.3 | <0.3 |
| 기타첨가물 | % | <2.0 | <2.0 | <2.0 | <2.0 |

□ 목질계 바이오에탄올

1. 해외 목질계 바이오에탄올 현황

현재 전 세계 바이오에탄올 생산량은 연간 500억ℓ 이상을 상회하며, 최대 생산국은 브라질과 미국으로 전체의 80% 가량을 생산하고 있다. 그 외의 소량 생산국은 중국, 인도, 프랑스 등이 있다. 하지만, 이들이 생산하는 바이오에탄올의 주요 원료는 옥수수 등의 곡류나 사탕수수 같은 식량자원이다. 하지만 식량자원을 이용한 바이오에탄올 생산은 농축산물 가격 폭등을 일으켰다. 또한 식량자원을 질주하는 도로의 자동차에 넣는다는 도덕적인 문제도 있다. 이 때문에 비식용 자원인 원료를 이용한 제 2세대 바이오에탄올을 생산해야 한다는 인식이 일반화 되었다. 그럼에도 불구하고, 목질계 바이

오에탄올을 생산 공정은 식량자원을 이용한 바이오에탄올의 경우에 비해 경제성이 낮다는 이유로 상용화의 어려움을 겪고 있다. 현재 목질계 바이오에탄올 생산비는 전분계 바이오에탄올 생산 시 보다 높을 것으로 전망되고 있다. 하지만, 미국 국립재생에너지연구소(National Renewable Energy Lab; NREL)에 따르면 바이오에탄올 생산에 소요되는 에너지원을 기준으로 볼 때 목질계가 전분계 바이오에탄올 생산하는 것보다 2배 이상의 탄소 배출 저감 효과가 있는 것으로 알려져 있다.

이에 따라, 세계 각국은 효율적인 목질계 바이오에탄올 생산 공정 개발을 위해 공동 연구 프로그램을 운영하는 등의 노력을 기울이고 있다. 목질계 바이오매스로부터 에탄올을 생산하기 위한 광범위한 기술들을 개발 중이지만 아직까지 상업적으로 실행 가능하다고 증명된 것은 없다. 다만, 몇몇 공장에서 옥수수대, 밀짚, 목재가공 부산물, 산림수확 잔존물 등을 원료로 한 시연을 수행하고 있거나 예정하고 있는 실정이다.

시연 공장의 현황은 다음과 같다. Abengoa Bioenergy사는 Diadic International사와 공동으로 세계 각국에 4개의 2세대 시연공장에 투자했고 현재 스페인에서는 연간 2억ℓ 생산규모 공장에서 생산량의 2.5%를 밀짚으로, 미국 네브라스카주에서는 옥수수대를 이용하여 일일 생산량 1톤의 실증 공장(Pilot plant)을 가동하는 등의 활동을 전개해가고 있다. 미국의 Poet사는 4백만 달러의 시험규모 섬유소 에탄올 생산 시설을 2008년 말에 완공할 것이라고 발표했다. 네덜란드의 Nedalco사는 2008년 말까지 연간 2억ℓ의 에탄올을 생산하는 공장을 건설하고 25%를 셀룰로오스계 에탄올로 충당할 계획이다. RSE Pulp & Chemical은 미국 메인주 Old Town에 있는 펄프 공장에서 추출한 셀룰로오스를 이용하여 에탄올을 생산할 예정이다. 미국에너지청은 Diversa

와 Celunol이 합병되어 만들어진 Verenium Corporation에 차세대 셀룰로오스 기반 에탄올 발효 효소 체계 개발을 위해 2007년부터 4년 동안 3,300만 달러를 지원할 예정이다. 일본의 Bio Ethanol Japan Kansai사는 Verenium의 기술을 이용하여 시연 사업을 실행하였다.

2. 국내 목질계 바이오에탄올 연구현황

현재 우리나라의 목질계 바이오에탄올 연구는 주로 실험실 단위에서 진행되고 있으며 실증 규모의 연구는 전무한 상태이다. 이러한 가운데, 최근 국립산림과학원에서는 초임계수를 이용한 목재의 전처리 및 당화 동시처리 기술을 개발하였고, 이 기술을 응용한 실증 규모 시연 공장을 2010년 9월 중 준공할 예정이다. 이 기술은 초 단위의 반응 시간으로 목재를 포도당으로 전환시키는 획기적인 공정 기술이며, 상용화에 성공한다면 목질계 바이오에탄올 생산 공정 중 전처리와 당화에 소요되는 비용을 대폭 축소시켜서 전체 공정의 경제성 제고에 큰 영향을 미칠 것으로 판단된다.



그림 8. 초임계수 목재 당화 파일럿 플랜트

3. 금후 목질계 바이오에탄올 전망

국제 바이오에너지 연합(Global Bioenergy Partnership)의 전망에 따르면 현재 각국에서 시연공장들이 운영 중이고, 각 종 연구개발이 계획 및 실행되고 있지만 완전한 목질계 바이오에탄올의 상용화가 이루어지려면 10년 이상의 시간이 더 필요할 수도 있다고 한다. 이러한 상황 하에서도, 미국, 덴마크 등의 선진국에서는 목질계 바이오에탄올을 미래의 중요한 에너지로 받아들이고 막대한 연구비를 지원하며 적극적으로 상용화 기술의 개발을 독려하고 있다. 미국의 경우에는, 2030년까지 자국에서 소비되는 수송연료의 30%를 목질계 바이오에탄올로 대체한다는 목표를 세워두고 적극적으로 연구개발에 몰두하고 있다. 따라서, 세계적으로 목질계 바이오에탄올 연구는 점점 확대될 것이고 경제성 높은 상용화 기술 선점을 위한 경쟁이 심화될 것으로 판단된다. 결과적으로, 아직 뚜렷하게 앞서가는 신기술이 개발되지 않은 현 상황에서 뒤늦게 목질계 바이오에탄올 상용화 개발 대열에 참여한 우리나라의 입장에서도 목질계 바이오에탄올 연구는 세계를 선도할 수 있는 기술 개발 가능성이 얼마든지 열려있다 할 수 있겠다.

□ 목질계 바이오오일

1. 바이오오일 현황

바이오매스로 에너지를 생산하는 방법은 매우 다양한데 크게 생물학적 방법과 열, 압력과 같은 물리·화학적 반응을 사용하는 방법으로 구분할 수 있다. 후자에 속하는 바이오매스의 열화학적 반응을 이용한 에너지 생산은 상당히 오래전부터 인류에게 중요한 에너지 공급 역할을 수행해 왔으며, 그 역사는 화석연료에 비해 매우 길다. 대표적으로 장작은 인류가 불을 발견한 이후 유기

한 세월동안 주요 에너지 자원이었다. 이와 유사하게 목재를 탄화시켜 에너지를 응축하여 제조하는 숯은 고급 연료로 인정되어 왔다. 바이오매스의 열화학적 반응은 생물체를 이용하는 공정에 비해 상대적으로 빠른 속도로 반응이 진행되고 단순한 공정으로 이 분야에 대한 관심이 지속적으로 높아지고 있다.

현재의 발전된 과학 기술을 기반으로 바이오매스를 열화학적으로 이용하는 방법에는 크게 열분해(pyrolysis), 액화(liquefaction), 가스화(gasfication), 연소(combustion)등을 들 수 있다. 주로 반응온도와 압력 그리고 반응 시에 산소의 유무에 의해 결정된다. 생성물은 목탄, 액체, 가스, 열 등이 있으며 이들은 다양한 공정을 거쳐 에너지 및 산업에서 이용될 잠재력 있는 자원이다. 이중 바이오오일을 생산하는 열분해공정 중 가장 많이 사용되는 방법으로 급속 열분해(fast pyrolysis) 공정이 있다. 급속열분해 공정은 약 500℃의 온도에서 1~2초 정도의 단시간 내에 바이오매스를 분해시키는 반응으로, 이 과정에서 바이오매스가 휘발 가능한 저분자물질로 분해된다. 이 휘발성 물질을 냉각시켜 액상형태로 변환시킨 것을 바이오오일(bio-oil) 또는 열분해오일(pyrolysis oil)이라 한다.

바이오오일은 점도가 있는 짙은 갈색의 액체 형상을 지니며, 탄내가 난다. 열에 의해 완전히 분해되지 않은 매우 다양한 유기물질로 구성되어 있기 때문에, 새로운 화학물질 자원의 보고(寶庫)라고 여겨지고 있는데, 바이오오일에는 300종이 넘는 화학물질들이 포함되어 있는 것으로 보고되고 있다. 여기에는 모두 바이오매스의 주요 구성 성분인 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스, 리그닌의 열분해 산물들과 화학반응을 통해 생성된 물이 포함된다. 유기산류, 알코올류, 케톤류, 알데하이드류, 페놀류, 에테르류 및 당류, 퓨란류와 질소 산화물 등이 주요 화

학물질이다. 바이오오일은 적게는 15%에서 많게는 30%정도의 물을 포함하고 있는데, 이로 인해 발열량은 4,500kcal/kg 수준이다. 수분을 선택적으로 제거할 경우 바이오오일의 열량은 증가하게 된다. 또한, 유기산들로 인해 pH가 2.5 수준으로 낮다. 일반적인 원소 구성은 탄소가 약 55%, 수소가 약 6%수준이나, 산소가 37%로 높게 나타난다. 그러나, 바이오오일은 반응 조건뿐만 아니라, 원료 종류, 화학적 구성의 차이와 함유하고 있는 무기물의 차이에 의해서도 반응 생성물이 달라지기 때문에 대략적인 기준은 제시될 수 있으나, 품질이나 특성을 현재 사용되고 있는 화석연료와 같이 제시하지는 못하고 있다.

바이오매스로부터 바이오오일을 얻는 수율은 이론적으로 최고 70% 수준으로 보고되고 있으며, 이외에 약 15%의 가스 및 15%의 목탄(char)이 생성된다. 반응의 효율을 보다 높이기 위한 공정연구, 고성능 반응기에 대한 연구와 바이오오일 회수 시스템 연구를 지속적으로 하면 이론에 근접한 수율을 얻을 수 있을 것이다.

국내에서는 농진청을 중심으로 한 유채로부터 바이오디젤을 생산하는 연구와 산림과학원과 서울대학교에서 산림바이오매스를 원료로 한 급속열분해에 의한 바이오오일의 제조 및 오일성능 평가 등에 관한 연구를 수행하고 있다.

2. 해외 바이오오일 생산 및 연구 현황

바이오오일 생산은 벌써 일부 기업에서 상업화를 시작하였다. 바이오매스의 열분해를 통한 바이오오일 생산과 관련하여 2006년 미국 국립재생에너지연구소(NREL)에서 제시한 자료에서는 다양한 종류의 반응기를 이용하여 세계 9곳 정도의 설비를 제시한 바 있다. 여기에서 캐나다의 Dynamotive사가 시간당 400kg의

바이오매스를 소모할 수 있는 설비 갖추고 있고, Pyrovac사가 시간 당 3,500kg의 바이오매스를 소비할 수 있는 설비를 갖추고 있는 것으로 보고하였다. 이외에 상업적 바이오오일 생산을 위한 선도적인 업체로서 네덜란드의 BTG, 캐나다 RTI, Ensyn 등이 있다. 최근 세계에너지협회(IEA, International Energy Agency)에서는 바이오오일 관련 하여 연구 그룹(<http://www.pyne.co.uk>)에서 제시하고 있는 자료에 따르면, 2009년 말 연구용 설비를 제외한 상업용 생산 설비 숫자가 급격히 증가하여 세계적으로 40곳이 넘는 생산 설비가 가동되고 있는 것으로 보고하고 있다. 특이할 점으로 2006년도에 Ensyn과 미국 Red Arrow사의 합작으로 설립되었던 시간 당 1,500kg이상의 설비 2곳은 현재 가동되지 않는 반면, 캐나다의 Abritech사는 시간당 2,000kg규모의 생산 설비와 Dynamotive사는 8,000kg 규모의 생산 설비를 가동하고 있으며, Ensyn 사도 4,000kg규모의 설비를 가동하고 있다. 이러한, 설비의 확대는 세계적인 시장 규모가 확대되고 있는 것을 나타내는 지표이며, 향후 바이오오일이 화석연료를 대체할 수 있는 에너지 자원으로서의 가능성을 보여주는 것이라 할 수 있다.

2007년 원유가격이 급등하기 전인 2005년 유럽에서 제시된 바이오오일의 경제성 분석 자료에는 유럽지역 화석연료의 가격을 살펴보면, 천연가스는 5.5~11.5유로/GJ, 중유는 5.53~9.08유로/GJ, 석탄은 1.52유로/GJ 인 반면, 바이오오일의 가격은 수송용 탱크크기에 따라 가격차이가 있지만, 소형탱크로 브라질의 사탕수수로부터 생산된 바이오오일의 가격은 수송비를 포함하여 약 6.4유로/GJ이며, 캐나다지역의 병충해 피해목으로 생산된 바이오오일은 약 10.5유로/GJ로서, 바이오오일이 현재의 바이오연료에 주어지는 다양한 세금

혜택 등을 고려한다면 유럽지역에서 화석연료에 대해 바이오오일은 충분히 경쟁력을 갖추고 있는 것으로 보고한 바 있다.

3. 바이오오일 전망

바이오오일의 최종 목표는 보다 경제적인 방법으로 화석연료를 대체할 수 있는 대체에너지의 개발이다. 여기에는 현재 휘발유와 경유, 그리고 중유를 대체할 수 있는 액상 연료를 제조하고 더불어, 화학공정을 통해 산업에서 요구하는 원료물질을 공급할 수 있는 것도 주요한 목표에 포함된다. 이는 바이오오일이 다양한 화학물질로 구성되어 있기 때문에 가능하다.

여기에 덧붙여, 현재, 바이오오일이 지니고 있는 단점을 극복하기 위한 연구는 학계뿐만 아니라 산업계에서도 활발하게 진행되고 있다. 원유의 생산 및 정제과정에서 이용되고 있는 공법인 수소첨가공정(hydrotreating process)을 이용해 바이오오일을 경유와 혼합하여 사용하거나 대체하기 위한 개질 공정에 대한 연구가 학교 및 업계에서 수행되고 있으며, 이와는 다른 방향에서 2009년 핀란드 Metso사, 펄프 및 제지관련 업체인 UPM사와 VTT는 바이오오일 생산 공정을 통해 전력발전을 하기 위한 실증사업을 수행하고 있다. 이 실증사업의 규모는 하루 7,000kg의 바이오오일을 생산하면서 여기서 생산된 바이오오일과 목탄을 이용하여 제지공장에 사용할 에너지를 위해 열병합발전을 수행하는 것을 목표로 하고 있다.

또 다른 관점에서 바이오오일의 상업적 이용 확대를 위한 연구는 미국에서 진행되고 있는 바이오오일 분리 공정 개발에 대한 연구이다. 이 분야는 비교적 최근에 시작된 분야로서 다양한 화학물질의 혼합체인 바이오오일을 기존 원유를 이용한 정유 산업에서 적용되는 개념을 적용하여 보다 경제성이 있으며, 공정을 단축하여 액상연료 및 화학원료로 생산하기 위함이다. 미국 미시시피 주립 대학에서는 촉매 개발을 통해 바이오오일을 정유산업의 증류 공정과 유사한 공정을 통해 분류하기 위한 연구를 수행하고 있으며, 휘발유, 항공유, 경유, 중유 등을 생산할 수 있다는 연구 결과를 발표한 바 있다. 더불어, 바이오오일에 포함되어 있는 고부가가치의 화학물질을 분리하기 위한 연구 또한 다양하게 수행되고 있다.

바이오오일이 지니고 있는 잠재력은 연소를 위한 단순한 액상연료 형태뿐만 아니라 원유로부터 화학물질 원료를 뽑아내는 것과 같이 화학물질의 원료 자원으로도 활용할 수 있는 방향으로 진보하고 있으며, 제조 공정의 편리성과 경제성으로 인해 세계적으로 연구가 매우 활발히 진행되고 있다.

이러한 세계적인 추세에 발맞추어 국내에서도 신재생 에너지 기술 개발 분야의 중요한 축으로서 정책적인 바이오오일 관련 연구가 필요하다.

기획: 홍성구 편집부위원장 bb9@hknu.ac.kr