

바이오 에너지의 시대는 오는가?

박 순 철

한국에너지기술연구소 책임연구원

1. 바이오 에너지 기술개발의 신전개

1999년 8월 20세기를 마감하는 여름에 미국의 클린턴 행정부는 대통령 특별명령으로 21세기에 대비한 한가지 의미 있는 행보를 한 바 있다. 제13134호로 발표된 “바이오 에너지 및 바이오 원료 산업 육성(Bio-based Products and Bioenergy)” 특별명령이 그 것이다. 8월 12일 이후 며칠 간의 메스컴을 장식했던 이벤트는 일반인들의 관심에서 멀어져 갔지만 거대한 농림업을 기반으로 하는 미국 경제의 발전, 에너지 수급의 안정, 화석연료로 인해 야기된 지구온난화를 포함한 환경문제의 근본적 해결 방안으로서 지속적 생산이 가능한 곡물, 초목 그리고 각종 유기성 폐기물 즉 바이오매스를 원료로 하고 눈부시게 발전하는 바이오테크놀러지를 이용한 바이오 에너지와 원료의 생산을 공식 천명한 것이다.

우선 바이오 에탄올과 바이오매스 발전으로 공급되는 현재 3% 남짓의 바이오 에너지 공급을 2010년까지 3배로 늘리고 2020년 까지는 화학원료 공급의 10%를 바이오매스로 하겠다는 것이다. 미국 에너지성과 농무성은 미래에 대한 확신과 추진력을 가지고 이 사업을 추진하고 있으며 현재에도 목질계 바이오 에탄올 사업, polylactic acid 생산, 바이오매스 발전, LFG 발전 등에서 이미 상당한 성과를 거두고 있다.

그렇다면 이들이 이다지도 관심을 가지고 개발하고자 하는 바이오매스와 이를 이용한 바이오 에너지 및 바이오 화학 원료란 무엇인가.

바이오매스란 태양에너지를 받은 식물과 미생물의 광합성에 의하여 생성되는 식물체, 균체와 이를 먹고 살아가는 동물체를 포함하는 생물 유기체를 일컫는다. 따라서, 바이오매스 자원은 곡물, 감자류를 포함하는 전분질계의 자원과 초본, 임목과 볏짚, 왕겨와 같은 농부산물물을 포함하는 셀룰로스계의 자원 그리고, 사탕수수, 사탕무와 같은 당질계의 자원은 물론이고 가축의 분뇨, 사체와 미생물의 균체를 포함하는 동물 단백질계의 자원 그리고 이들에서 파생하는 종이, 음식찌꺼기 등의 유기성 폐기물을 통틀어 포함하게 되는 것이다.

이와 같은 바이오매스 자원을 에너지화한 것을 바이오 에너지라 하며 전환, 이용의 방법은 뿔감의 사용에서 보는 바와 같이 직접 연소하여 열을 얻는 방법, 이를 열분해하거나 가스화

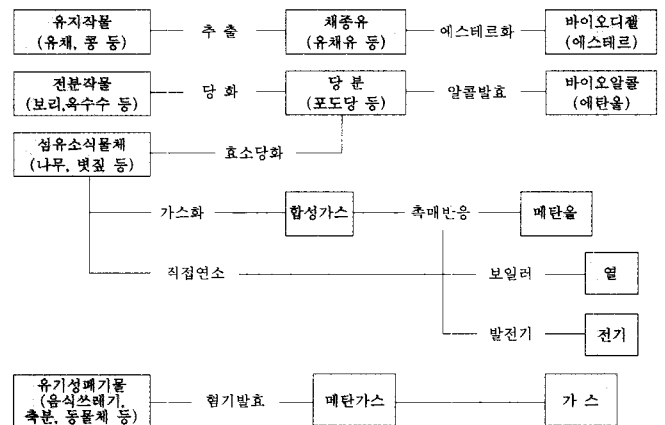


그림 1. 바이오 에너지 생산 이용 기술.

하여 숯이나 가연성가스 등을 얻는 열화학적 방법과 혐기성 발효를 하여 메탄가스를 얻거나 당화하여 에탄올과 같은 고급 액체연료를 얻는 등과 같은 생물학적 방법이 있다. 그 외에도 유지작물을 재배하여 식물성 기름을 생산하고 이를 가공하여 자동차용 경유를 얻는 바이오 디젤 등 여러 가지 형태의 에너지 지원을 얻을 수 있다. 다음 그림 1은 현재까지 개발된 바이오 에너지 생산 이용 기술을 요약한 것이다.

바이오 에너지는 인류가 불을 사용한 이래로 오늘날의 화석 연료와 제3의 에너지라 불리는 원자력이 등장하기 전까지 그 야말로 제1의 에너지원의 자리를 지켜온 재생가능하며 환경친화적인 에너지이다. 바꾸어 말하면 쓰기가 불편하므로 사용을 줄여온 나무 등의 바이오 에너지는 생산의 과정에서 이산화탄소를 고정화하고 태양이 떠 있는 한 재생산이 되므로 화석연료의 과다 사용으로 야기된 산성비, 지구온난화 등에 찌든 지구를 되살릴 수 있는 신재생 에너지 라는 것이다.

현재도 바이오 에너지는 전세계 에너지원의 14% 정도를 공급하고 개발도상국에서는 자국에너지 소비의 90% 이상을 이에 의존하고 있는 경우도 있다. 최근에 이르러서는 화석연료의 과다한 사용이 범지구적 환경 문제를 야기함에 따라 스웨덴, 프랑스, 덴마크를 포함하는 유럽과 미국, 캐나다 등 북미 선진국들도 바이오 에너지를 공급하여 화석연료의 사용과 이산화탄소의 발생을 줄이고 있으며 미국의 바이오 에너지에 대한 새로운 입장은 앞서도 언급한 바 있다.

한편, 생물 유기체를 구성하는 탄수화물은 석유를 구성하는 탄화수소와 마찬가지로 적어도 이론적으로는 화학, 생물공학 기술을 응용하여 우리의 일상생활에서 쓰이는 거의 모든 화학 제품을 만들 수 있다. 다만 탄탄한 인프라를 구축하고 값싸게 공급되는 석유화학 제품을 경제성 면에서 극복하지 못하고 있을 뿐이다. 최근의 예를 들면 미국의 카길사(Cargill Corp.)는 네브라스카 주에 건설된 Biorefinery에서 옥수수를 원료로 Lactic acid를 포함한 수 개의 화학제품과 생분해성 플라스틱인 Polylactic Acid를 생산하기 시작하였다. 이와 같이 바이오매스를 이용한 범용 화학제품의 생산은 비 연료유용 석유(나프타)의 소비를 절약할 뿐 아니라 공정자체의 에너지 소비를 줄일 수도 있어 석유소비를 절감하며 유화계 플라스틱 등을 대체하여 환경오염을 저감함으로써 지구환경의 개선을 도모할 수 있는 것이다. 동시에, 바이오매스 원료(곡물, 임산물 등) 생산 산업인 농림업이 발전되고 온난화 가스의 고정화 및 배출 저감도 기할 수 있는 것이다.

본고에서는 우리나라 바이오 에너지 기술개발의 현주소와 국내외 기술 개발 현황을 살펴보고 향후 기술개발의 가능성을 나뉘므로 전망하여 보고자 하였다.

2. 우리나라의 바이오 에너지 기술개발 여건

우리나라는 온대기후 지역에 속하는 전통적으로는 농업국가로서 산지가 60%를 넘어 석탄자원이 개발되기 시작한 근대 이전에는 뿔감이 국내에너지 수요의 대부분을 공급하였으며 경제부흥기에는 산림보호 정책으로 무연탄이 보급되며 뿔감의 수요가 줄었으나 석유파동의 해인 1974년도에도 뿔감이 1차 에너지 소비의 13.7%를 차지하여 연간 약 1천200만톤의 뿔감(3백50만 toe, tons of oil equivalent)이 1차 에너지원으로 소비되었다. 그러나, 바이오 에너지를 많이 사용하던 농촌지역마저도 급속히 도시화하여 화석연료 소비가 늘어나면서 1991년도 신탄소비는 200만톤 정도(60만 toe)로 감소되고 그 이후로도 이와 같은 감소추세가 계속되어 1995년도에는 불과 9만 toe 정도만이 소비되고 있으며 그 이후로는 뿔감의 시장가치가 소멸하여 통계조차 잡히지 않고 있다.

그런데, 이와 같이 국내에도 자원이 풍부하여 연간 360만 toe 정도의 바이오 에너지 공급이 가능하여 태양에너지 다음을 차지하는 때도 있었으면서 뿔감의 공급이 지속적으로 감소하는 이유는 자원이 광범위하게 산재하여 수집, 수송이 어렵고 지금까지 기술적으로 상용화된 바이오 에너지는 주로 직접 연소하는 경우로서 석유, 가스, 전기와 같은 양질의 연료가 아니고 고체연료의 형태를 벗어나지 못하고 있었기 때문이다.

따라서, 1974년 석유파동 이후 바이오매스를 직접 연소하는 방식이 아니고 이를 전기, 액체연료 혹은 가스등의 양질의 연료로 전환하여 사용하는 신재생 에너지로서의 새로운 바이오

에너지기술이 세계적으로 연구되기 시작하였고 90년대에 들어서는 지구온난화 방지기술의 하나로서 최근에도 급속한 발전을 보이고 있다. 태양열과 바이오매스자원을 제외하면 이렇다 할 신재생 에너지 자원도 없는 우리나라는 에너지의 해외 의존도를 줄이고 지구온난화등 환경오염을 줄이는 유력한 신재생에너지 기술로서 바이오 에너지 기술개발을 적극 추진하지 않으면 안되는 것이다.

국내의 바이오매스 자원은 연간 200만톤에 이르는 임산자원과 왕겨(47만톤)를 포함하는 농산폐기물 연간 300만톤, 축산폐기물, 주방폐기물, 도시폐기물 중의 종이 목재를 망라하면 현 기술로 이용 가능한 에너지상당량은 약 360만 toe로 추정되고 있다. 1995년 바이오매스의 이용량은 신탄은 과잉생산되었지만 약 21만톤(9만 toe)만이 소비되었으며 기타의 자원 중에서는 왕겨가 왕겨탄의 형태로 소비되어 약 20,000 toe의 에너지를 공급하였고, 축산폐기물과 일부 식품산업폐기물에서 생성된 메탄가스가 38,000 toe의 열을 공급하였으며 2000년에 이른 최근에는 약간의 상승세를 유지하고 있다(후기 기술개발의 성과 참조). 따라서, 바이오 에너지의 가용 자원량 대비 보급율은 4.1%에 불과하며 신탄을 제외하면 가용자원량 대비 바이오 에너지의 보급률은 약 1.6%에 불과하다. 만약 360만 toe에 이르는 가용자원을 모두 바이오 에너지로 이용한다면 이는 총 1차에너지 소비(1999 : 180백만 toe)의 2% 정도를 공급하는 결과가 될 것이다. 그러므로 우리나라에서도 다양한 형태의 바이오매스 자원을 쉽게 사용이 가능한 가스, 액체연료 혹은 전기 에너지등의 양질의 에너지 형태로 변환하는 바이오 에너지 기술개발을 적극 추진하면 에너지 자급도를 높이는 동시에 환경의 보존도 가능하다는 것이다.

3. 국내의 바이오에너지 기술개발 현황

우리나라에서 신재생 에너지로서 바이오 에너지 기술의 장기적 개발 목표가 설정된 것은 에너지관리공단이 주도한 1988년 6월의 대체에너지 기술개발 기본계획에 의한 것이며 바이오 에너지는 그 자원과 기술의 양태가 다양한 만큼 1988년부터 1992년까지 연구개발 초기에 많은 수의 기초기반기술 연구가 진행되어 왔다. 이 계획은 1992년 기술수준, 환경영향, 국내여건을 고려하여 실용화 연구를 목표로 수정 되었고 유기성 폐수 및 폐기물의 혐기발효 혹은 매립지 추출에 의한 대규모 메탄가스 발생 이용기술, 바이오에탄올 개발보급을 실제적 목표로 하고 장기적으로 바이오 수소생산, 바이오디젤 생산(폐식용유, 우지, 돈지 등을 에스테르화 하여 디젤연료화 하는 기술), 바이오매스의 가스화 발전기술(나무 종이 등 유기물을 가연성 가스로 만들고 이를 열병합 발전에 이용하는 기술)을 개발하는 것을 목표로 현재까지 기술개발이 수행되고 있다.

기술개발의 추진은 정부, 연구지원기관, 연구기관, 대학이

정책수립, 연구관리, 실용화 연구, 기초연구를 각각 분담하여 유기적으로 협력하고 있으며 도시 음식폐기물, 산업폐수, 축산 폐수 메탄가스 발생 이용장치 실용화, 전분질계(옥수수) 및 목질계(나무, 종이 원료) 자동차 연료용 바이오 에탄올 생산기술 축적에 많은 성과를 거두고 있으며 향후 에너지 가격의 상승 시에 본격적 개발, 보급이 기대되고 있다.

한편 해외에서는 미국, 스웨덴, 캐나다 등은 나무를 당화하고 발효하여 에탄올을 생산하고 이를 자동차용 연료로 하고자 하는 연구를 1980년 이후로 계속하여 올해(2000년)에는 상업화 공장이 시운전 할 것이며 덴마크는 축산폐기물을 혐기소화한 가스와 목재등 농업 부산물을 농촌지역의 지역난방에 대대적으로 이용하여 1994년 이미 자국내 연료사용량의 4%를 바이오 가스와 밀짚, 나무칩으로 공급하였고 2000년 까지 이를 6%까지 높이겠다는 계획을 갖고 있으며 미국, 스웨덴, 이탈리아 등은 나무칩을 가스화하고 열병합발전하여 전력을 생산하는 기술의 개발과 보급에 큰 성공을 거두는 등 기술 개발과 보급이 활발히 추진되고 있다. 한편, 중요한 바이오 가스원의 하나인 매립지 바이오 가스(LFG)는 최근 Biogas의 온실효과가 알려지면서 해외에서는 거의 모든 대규모 매립지에서 가스, 열 혹은 전력생산에 이용되고 있다.

다음 표 1에는 현재 전 세계와 국내에서 개발되고 있는 주요 바이오 에너지 기술개발의 현황과 국내외의 기술수준을 비

교 요약하여 보았다.

4. 기술개발의 추진성과

국내의 바이오에너지 기술개발은 1988년 대체에너지 기술 개발 사업이 시작되면서 본격화 되어왔다. 이전의 동분야 연구 개발은 왕겨탄 및 연소기 개발, 축산폐기물 메탄발효 부문에서 연구개발이 수행되어 왔으며 대체탄(왕겨탄등)은 상업화 되어 연간 50,000톤 이상이 소규모 업자들에 의해 현재까지 꾸준히 공급되고 있으며, 축산폐기물 메탄발효 기술은 산업폐수 처리공정(특히 주정폐수 처리 등)으로 이전되어 결실을 보고 있었다.

1988년 이후에는 전분 및 목질계 에탄올 생산기술 개발과 고율 메탄발효공정 개발에 치중되고 있는데 전분계 에탄올 기술개발은 하루 1 k l 의 에탄올 생산규모의 연속발효 파일로트 플랜트가 성공리에 운전되며 기술개발 축적이 완료되어 삼성엔지니어링 등이 현재는 해외 플랜트 건설 등에 활용하고 있으며, 목질계 에탄올 생산기술 개발은 1993년 이후 체계를 갖추어 하루 20 l 에탄올 생산규모의 실증플랜트가 운전 연구되고 있다.

고율 메탄발효 공정은 혐기성 여상공정이 현대엔지니어링이 참여 상용화 보급되고, UASB(상향류 슬러지 층상 반응기)공정은(주)대우에 의하여 100톤급 파일로트 연구가 완료되고

표 1. 바이오 에너지 주요분야 국내외 기술개발 및 보급현황(2000년)

기술분야 및 세부기술명	국외 기술 현황		국내 기술 현황	
	주요개발국가명	개발단계	주관기관명	개발단계
• 전분질계 에탄올 연료 (가소홀, ETBE 포함)	미국(38억l/년), 브라질(120억l/년) 프랑스(7만톤/년)	상용화	알콜산업조합 삼성Eng.	개발연구 (1kl/년파일로트)
• 목질계 에탄올 연료	미국(300l/일) 프랑스(30m ³ 발효조) 일본(150l/일)	개발연구	에너지기술(연)	응용연구 (20l/일 실증연구)
• 메탄발효기술	EU국가군, 일본, 미국	상용화	현대Eng.(여상발효조) 대우건설(UASB) (주)거신(LFG활용)	상용화 보급시험(500톤급) 보급연구
• 혐기발효 유기성 폐기물 처리	프랑스, 독일, 핀란드, 네델란드, 벨지움, 이탈리아, 일본 등	보급(실용화)	에너지기술(연) 한라산업개발	상용화(15톤/일(1997년), 30톤/일(1999년))
• 바이오매스 가스화 발전	이탈리아, 스웨덴, 브라질	실용화 연구		미착수
• 바이오 디젤	프랑스, 이탈리아, 오스트리아, 독일, 벨지움, 체코 (4백만톤/년 규모)	상용화	두원정공 에너지기술(연)	기초연구
• 바이오 수소생산	일본	응용연구	에너지기술(연)	응용연구
• 바이오 고형연료	프랑스, 스페인, 스웨덴	상용화	에너지기술(연), 왕겨탄업체	상용화(년 약90,000톤)
• 에너지 작물재배	미국, EU국가군 (10년이상재배시험)	개발연구		미착수
• 생물학적 CO ₂ 고정화	미국, 일본	응용연구	에너지기술(연)	응용연구

500톤급 반응기의 상업화 실증단계이다. 메탄발효 공정은 현재는 투자여력이 있는 산업체에 보급되어 왔고 앞으로도 당분간 이들이 주류를 이룰 테지만 축산이 기업화하고 환경규제도 나날이 엄격해 짐으로서 축산폐기물에도 본격적 대형 플랜트 형태로의 보급이 필요한 시점이다. 한편, 유럽에서 활발히 연구되어 보급단계에 있는 유기성 폐기물 메탄가스화 기술은 기초 및 응용연구가 이루어 졌으며 1997년 경기도 의왕시에 상업화(하루 음식쓰레기 15톤 처리규모)된 바 있다. 한편, LFG 발전기술은 현재 적용 타당성과 구체적 기술이 검토되고 있다.

그리고, 미래의 바이오 에너지 기술로서 바이오 디젤 생산 및 이용, 바이오 수소생산, 미세조류에 의한 CO₂ 고정화 기술 등이 실용화를 목표로 응용연구 단계에 도달해 있으며 향후 유망한 바이오 에너지 기술로서 개발이 기대되고 있다.

한편, 연구의 결과로서 바이오 에너지의 보급성과를 보면 1998년 현재 메탄가스 발생시설은 99개소로 40,000 toe의 메탄가스를 생산이용하고 있으며 대체탄(왕겨탄)은 약 57,000톤이 생산, 소비되어 약 23,000 toe의 연료를 공급하였다. 1999년 이후로는 음식쓰레기 메탄가스화 시설이 상용화 되므로서 향후 이의 보급이 기대되고 있으며 김포 매립지를 비롯한 매립지 LFG의 에너지 이용이 활발히 추진되고 있다.

참고로 우리나라 바이오 에너지 분야 연구개발은 1988년 대체 에너지 기술 개발이 착수된 이래 1999년 까지 총 69개 연구과제가 수행되었으며 총연구비 약 211억이 투입되었다. 총 연구개발 투자비중 정부가 133억원, 민간이 78억을 투자하여 민간부담 비율이 37% 정도이며 바이오 에탄올 연구 분야에 60%, 혐기발효 분야 및 미래 바이오 에너지 연구 분야에 약 40%의 재원이 배분되었다.

5. 바이오 에너지의 미래

바이오매스 자원은 그 양태와 분포가 다양하고 이용기술도

다양하므로 쌀감, 왕겨탄, 메탄가스 등 기존의 바이오 에너지(바이오 연료)는 보급을 시장 기능에 맡기되 법규, 제도적 개선을 통하여 보급여건을 개선하며 민간의 자동 연소기 혹은 가공기 개발, 메탄가스화 기기개선 등 보급 기반 연구를 측면 지원하여야 할 것이다. 한편, 바이오 알콜, 고효율 건식 메탄가스화 장치(고형 폐기물 메탄가스화), LFG 이용 발전기술 등과 바이오 수소생산, 바이오매스 가스화 발전 기술 등 미래지향적 대규모 첨단 바이오 에너지 기술은 관련 산업계, 연구소, 학계를 계속적으로 지원하여 기술축적을 행하고 여건이 성숙되는 기술부터 적극적으로 상용화하는 것이 우리나라 바이오 에너지 기술개발의 기본 방향이었을 것이라 하겠다. 이러한 기초가 향후 상당 기간 지속될 것이다.

본고의 서두에서도 소개하였거니와 21세기의 지속적 발전을 추진하는 에너지 및 화학 원료 원으로서 바이오 에너지 기술 개발은 눈부신 바이오 테크놀러지의 개발 현황과 날로 심각해지는 에너지 자원의 고갈 및 고가화와 지구온난화 문제를 고려하여 새로운 전기를 마련해야 할 것이다. 정부에서도 이미 생물산업 발전 10개년 계획을 새로이 정비하고 바이오 에너지 연구개발을 활성화하기 위한 첨단 바이오 에너지 기술개발 자금을 마련하는 등 기술개발 추진의 정책수단을 강구하고 있다.

그러나, 일시적인 고유가 상황에서 단기적 대응책을 마련하는 정도의 지원으로 바이오 에너지 기술의 정착과 대규모 보급을 기대하기는 어려울 것이다. 최근의 고유가 하에서 바이오 에너지 기술개발 활성화 움직임을 기화로 산학연의 관련 전문가를 적극적으로 참여케 하고 바이오 에너지의 환경적, 국가안보적(에너지 수급안정) 중요성을 고려하여 기존의 화석연료에 비하여 생산단가가 당장은 조금 비싸더라도 과감히 보급을 추진하는 정책적 수단을 동원하여 바이오 에너지 제품과 기술의 시장진입과 점진적 보급확대를 도모하여야 할 때인 것이다. 즉 바이오 에너지의 시대는 꼭 올 것이며 지금은 그 때를 준비하여야 할 때라는 것이다.