

바이오연료의 양면성

김철경 목원대학교 공과대학 교수
생물화학공학 전공

최근 바이오연료 개발 시장이 급속도로 확대되며 발전하고 있다. 지구온난화의 요인인 이산화탄소의 저감 대책과 석유자원의 유한성 극복을 위하여, 21세기는 에너지 안보를 절실한 과제로 삼고, 세계 각국은 대체에너지 개발에 심혈을 기울이고 있으며, 대체에너지 중에서도 최근 바이오연료에 대한 관심이 집중되고 있는 까닭이다. 미국과 유럽연합을 포함한 각 국가들은 화석연료에 대한 대안으로서 바이오연료 사용정책을 발표하고 있다. 선진국들은 앞으로 20년 안에 세계 에너지 소비량의 25%를 바이오연료로 대체하는 것을 목표로 하고 있다. 영국의 대표적인 석유생산기업인 BP는 바이오연료 분야에 대한 투자를 강화하기 위한 계획을 발표한 바 있다.

바이오연료에 대한 기술적인 연구도 열기를 보이고 있다. 바이오연료와 수소를 동시에 생산하는 공정을 개발하고 있으며, Chevron은 셀룰로오스계 바이오연료개발에 매진하고 있다. 에탄올 생산 증대를 위하여 유전자조작 효소도 연구 개발되고 있다.

이처럼 미국, 브라질, 유럽, 일본 등 세계 각국에서 바이오

연료의 증가와 시장의 확대는 지구온난화의 문제를 해결하는 긍정적인 열쇠라고 판단하여 추진되고 있다.

반면, 최근 일련의 보고서를 통해서 바이오연료 시장의 급작스런 확대는 부작용을 가져올 것이라는 우려가 제기되고 있다. 바이오연료 문제와 관련하여, 2007년 6월에 FAO와 IBEP(International Bio Energy Partnership)은 보고서를 발표하였다. FAO는 최근 발간한 “식량전망” 보고서에서 국제적인 식량 수입량이 주로 바이오 연료에 대한 수요로 인하여 증가하고 있다고 밝혔다. 특히 바이오 연료 생산에 쓰이는 식물성기름과 수입곡물의 가격상승이 전체 수입량 상승의 상당부분을 차지하고 있으며, 이들 분야의 수입액은 2006년도 보다 13%나 상승할 것이라고 보고하고 있다.

최근 OECD의 수석위원 Loek Boonekamp는 바이오에너지가 농업시장에서 가장 중요한 요소로 작용하게 되었다고 판단하고 중장기적으로 국제 농작물 가격의 상승을 가져오게 될 것이며 지난 10년 동안 상승보다 훨씬 더 많이 가격이 상승하게 될 것으로 전망하고 있다.

바이오연료 개발의 급속한 확대는 다른 식용작물재배를

세계 각국은 환경에 대한 우려가 없으면서 고갈되지 않는 재생 가능한 에너지자원을 찾기 위해 많은 연구와 개발에 심혈을 기울이고 있다.

크게 대별하면, 전력 생산을 위한 발전 자원들과 급증하는 자동차 연료에 사용될 수 있는 대체 연료들이다.



감소시켜 식품가격의 상승과 경작지 토지가격의 급등을 가져와 가난한 농부들의 생존권을 박탈할 수 있다는 주장이 제기되고 있다. 특히 2007년 6월 발표된 UN Energy 기구의 보고서는 이러한 부정적인 측면을 제기하면서 바이오연료의 개발에 대한 급속한 지원에 대한 우려를 표명했다. 따라서 본고에서는 바이오연료에 대한 보급 정책 동향을 살펴보고, 바이오연료, 바이오에탄올의 경제적 난제와 양면성을 개괄적으로 살펴보고자 한다.

바이오연료의 정의

흔히 바이오매스에너지는 재배물계와 폐기물계로 구분한다. 재배물계는 육역계와 수역계로 나누어서 분류하며 육역계는 옥수수, 사탕수수, 초목, 유아자로부터 생산되는 에너지들이 해당된다. 육역계는 당질계, 전분계, 셀룰로오스계, 탄수화물계 및 유지계로 구분하며, 옥수수, 고구마, 카사바(cassava) 등으로부터 생산되는 바이오에탄올은 전분계로 분류한다.

바이오연료는 콩, 옥수수, 해바라기 등과 같은 식량작물(food crop)을 통해 에탄올을 생산하는 것으로 정의된다.

바이오연료가 되는 식물은 상당히 많다. 한 예로 남아메리카가 원산지인 열대 및 아열대 식물로 뿌리가 고구마처럼 생긴 카사바는 가늘게 잘라 소주를 만드는 원료로 사용하며 1차 가공해 가루로 만들어 당면, 국수, 공업용 종이 등을 만드는 데 사용하는데, 이것을 원료로 발효균주와 효소를 가미해 2차 가공하면 석유와 5~20%까지 섞어 사용할 수 있는 바이오에탄올이 된다.

최근에는 셀룰로오스뿐만 아니라 헤미셀룰로오스, 리그닌 등 모든 목질계 성분을 이용하여 바이오연료의 생산수를 높이는 기술이 연구되고 있다. 그러나 이 방법에는 특별한 처리 방법이 요구되고, 이 기술의 일부가 작은 발전소에서는 증명됐지만 아직까지 상업적으로는 이용 가능성이 입증되지 않고 있다. 에탄올을 생산하기 위한 옥수수의 수요량은 주요 식품 가격을 상승시켰다. 그래서 옥수수를 대신할 다른 대안으로 옥수수 낱알보다 더 풍부한 목재 부스러기(wood chip), 풀, 옥수수대(cornstalk) 등과 같은 폐기물계 바이오매스 셀룰로오스 물질을 이용한다.

세계 각국은 환경에 대한 우려가 없으면서 고갈되지 않는 재생 가능한 에너지자원을 찾기 위해 많은 연구와 개발에 심혈을 기울이고 있다.

주요 국가들의 바이오연료 보급 정책 동향

크게 대별하면, 전력 생산을 위한 발전 자원들과 급증하는 자동차 연료에 사용될 수 있는 대체 연료들이다.

대체 연료들 중에서 현재 가장 큰 관심을 받고 있는 자원은 바이오연료이다. 특히 미국과 브라질이 바이오 연료의 보급을 확대하기 위해 공동으로 노력한다는 발표 후에 이들에 대한 관심이 더욱 증가하고 있다. 미국 George Bush 대통령은 “미국의 에너지 공급을 다양화하고 기술을 통해 이를 성취하는 것이 우리의 시급한 과제”라고 말하기도 했다.

“The Global Biofuels Outlook 2007”에 의하면, 조사 결과 50개국 중에서 40개국에 바이오 연료 촉진 정책이 채택되었으며, 27개국은 바이오연료를 법으로 도입하고 있음을 알 수 있다.

브라질은 1975년부터 에탄올산업의 발전을 위한 지원프로그램(에탄올 에너지 국가계획의 일환)을 자동차연료 정책의 일환으로 추진해 왔으며, 현재 성공적인 대체에너지 전략 모델로 인정을 받고 있는 상황이다.

독일에 차세대 기술인 액상화합물(biomass-to-liquid (BTL)) 기술을 사용한 그린연료(green fuels)의 대규모 생산이 가능하게 되었다. 차세대 BTL 기술은 바이오디젤과 가솔린과 같은 생화학적 연료를 지푸라기, 풀, 나뭇잎, 우드 칩과 저질 작물들과 같은 더 저렴한 폐기물계 원재료들을 사용하여 생산하는 것을 목표로 하고 있다. 독일은 대규모 BTL 생산이 가능하게 되어 독일이 필요로 하는 총 연료의 20%를 이 연료로 사용 가능하게 되었다고 독일 정부는 밝히고 있다.

남아프리카공화국 내각이 2006년 12월 중순 바이오연료 계획을 승인한다고 발표한 이후 재생에너지와 지속성을 위한 시민연합 Citizens United for Renewable Energy and Sustainability (CURES), 지구생명 아프리

카 요하네스버그(Earthlife Africa Johannesburg)는 남아프리카공화국 정부가 적절한 자문 없이 바이오연료산업 정책을 추진하며, 주곡 작물인 옥수수 가격을 끌어올릴 수 있다는 지적하였다. 남아프리카공화국은 높은 원유가격을 극복하고 연료 공급을 다원화하여 이산화탄소 배출을 줄이기 위하여 에탄올 공장에 투자를 적극 격려하고 있는 미국, 브라질, 몇몇 유럽 국가들의 에너지 정책을 따르고 있다.

바이오연료의 경제적 난제와 양면성

폐기물계의 바이오매스를 이용한 바이오에너지 연료 생산은 환경공학측면과 자원경제측면에서 바람직한 대체에너지로 분류할 수 있다. 그러나 재생가능(renewable), 풍부한(abundant) 자원, 대체가능한(substitutive) 자원의 측면에서 개발 추진되고 있는 옥수수 등 곡물을 이용한 바이오연료는 자원경제측면과 생태환경측면에서 결코 바람직하지 못하다.

주지하는 바와 같이, 옥수수는 수많은 남아프리카 사람들, 특히 빈민계층의 주곡이다. 만약 옥수수가 연료 생산 쪽으로 활용되거나 미국, 유럽연합의 바이오연료 시장에 공급하기 위해서 옥수수가 수출된다면 옥수수 생산국 국내 가격은 더욱 올라갈 수 있다.

작금, 많은 경제학자들과 과학자, 환경론자들은 엄청난 에탄올 생산은 문제의 해결보다는 문제의 발생을 야기하게 될 것이라고 경고하고 있다. 그러나 에탄올 생산을 지지하는 사람들은 옥수수, 보리, 밀, 사탕수수 또는 사탕무에서 생산되는 에탄올이 청정연료이며 재생가능한 자원으로 감소하고 있는 석유 유정에서 작물재배지로 전환하여 에너지수요를 충족시킬 수 있다고 믿고 있다.

또한 브라질의 선도적인 경제학자이며 바이오연료의 전문가인 Plinio Mario Nastari 박사는 브라질이 에너지

분야에서 선도적인 위치를 차지할 수 있는 기회라고 보고 있으며, 에탄올은 많은 분야를 바꿀 것이며 긍정적인 방향으로 전환하게 될 것이라고 전망하고 있다.

오늘날 상파울루는 flex-fuel car로 가득하며 바이오연료와 화석연료의 혼합이 보급되어 보편화되었다. 또한 모든 주유소는 에탄올 또는 가스펌프를 별개로 설치하고 있으며 석유는 에탄올연료보다 두 배 정도 고가이다. 그러나 이 녹색혁명 이면에도 과연 에탄올 연료가 얼마나 선진국의 구매자들이 이용하게 될 것인가에 대한 부정적인 면이 존재한다. 급작스런 에탄올 수요 증가는 브라질에서도 크게 우려되고 있는 문제가 되는 것이다.

에탄올 산업은 남미의 아마존과 대서양 연안의 산림지대와 브라질의 사바나지대에서 벌채현상과 더불어 에탄올 생산을 위해 엄청난 환경오염 물질을 배출하여, 브라질은 벌채현상으로 인해 세계에서 네 번째로 많은 양의 이산화탄소를 배출하는 국가가 되었다.

미국의 Earth Policy Institute의 경제학자인 Lester R Brown은 이 분야의 부작용에 대해 경고하는 사람들 중에 대표적인 인물이다. 8억 명의 자동차 운전자들이 자신의 차량이동가능성을 유지하기 위해 이들 곡물을 얻기 위한 경쟁을 한다면, 그리고 30억 명의 빈곤층 사람들이 자신의 생명을 유지하기 위해 노력한다면 그것은 큰 문제를 발생하게 될 것이라고 경고하고 있다. 에너지와 식량을 쟁취하기 위한 전쟁이 될 것이다. 이것이 바로 바이오연료의 경제적 난제이다.

옥수수와 같은 많은 바이오연료 작물의 경우 비료나 살충제 그리고 경작 장비의 운영을 위해 화석연료가 필요하다. 한 연구에 의하면, 옥수수는 바이오연료로 생산되는 것보다 30% 더 많은 에너지를 필요로 한다. 다른 문제는 이 바이오연료를 생산하기 위해 필요한 경작지의 문제이다. 4륜 구동 자동차의 연료통을 에탄올로 채우기 위해 일년 동안 한 사람을 먹일 수 있는 만큼의 곡물이 필요한 것으로 추산하고 있다. 빈곤층 국가의 사람들이 식량부족

으로 아사한 후에 존재하게 될 대기환경 개선이라는 것은 무용지물이나 마찬가지이다.

UN 30개의 조직이 모여 에너지 문제를 논의하는 UN Energy가 발표한 “Sustainable Bioenergy: A Framework for Decision Makers”라는 제목의 보고서는 바이오연료가 실제적인 혜택을 줄 수 있을 것이라고 주장했다. 하지만 곡물 재배를 위해서 산림을 훼손하거나 식품가격의 급등 또는 토지소유문제에서 지역공동체가 배제되는 현상이 일어날 경우 심각한 결과를 가져올 수 있다고 보고서는 지적했다.

수자원 또한 문제가 될 수 있다. 인구의 증가와 육류와 유제품 소비의 급증은 담수공급의 문제를 일으키고 있으며 바이오연료 작물재배가 급증하면서 이러한 담수가 부족하게 될 것이다.

개발도상국의 빈곤 농민들의 복리후생문제와 에너지자원문제를 다루고 있는 비영리조직인 “Grain”이 최근 발표한 보고서에서는 바이오연료 개발의 급증과 급작스런 전환은 환경적 혹은 사회적으로 심각한 피해를 일으킬 수 있다고 지적하고 있다. 지구온난화를 일으키는 여러 가지 원인 중에 하나가 대규모 농업방식인데, 바이오연료 생산을 위해서 이 방법을 적용하고 있는 것이다. 특히 화학비료를 사용함으로써 대기 중에 산화질소 성분을 배출하고 있기 때문이다.

2007년 6월 OECD가 UN FAO와 공동으로 작성하여 발표한 보고서에서는 급속도로 증가하고 있는 바이오연료 시장은 앞으로 10년 동안 농업작물가격을 상승시킬 것이라고 지적하고 있다. 이 보고서는 2016년까지 농작물 가격이 20~50% 정도 상승할 것으로 내다보고 있다.

중국은 세계에서 미국, 브라질 다음으로 에탄올 연료 생산량이 많은 국가이다. 하지만, 중국에서 옥수수를 이용하여 에탄올 연료를 생산하는 것이 앞으로 제한될 조짐을 보인다. 옥수수를 이용한 에탄올 생산은 대규모 옥수수

경작지 확보문제와 원가상승 등의 환경 및 경제적인 문제를 안고 있다. 중국 국가발전개혁위원회(NDRC, National Development and Reform Commission)는 바이오연료 생산 해당 공장들은 옥수수 대신 카사바(cassava)와 셀룰로오스와 같은 비곡물(non-grain)을 원료로 에탄올을 생산하는 체제로 전환해야 한다고 에탄올 생산 체제 전환을 검토하였다.

바이오에탄올에 대한 연료 사용 후 배기가스에 대한 연구들은 서로 상이하다. 바이오에탄올의 문제는 건강에 유해한 배기가스를 줄이는 대신 소량의 스모그를 발생시키기 때문에 배기가스 배출로 인해 일어나는 지구온난화 문제를 완화하고 대기 오염에 문제가 없다고 많은 학자들이 주장하고 있다. 그러나 최근 발표된 논문에서 이러한 대기 오염의 문제가 바이오에탄올 연료에서도 발생할 수 있으며 특히 오존의 증가로 인해 인간의 건강에 유해한 결과를 가져올 수 있다고 주장하고 있다.

미국 Stanford University의 대기과학자 Mark Jacobson은 컴퓨터 모델링으로 온도와 태양 빛, 구름과 강수량과 같은 기상 요소를 포함하여 2020년의 대기질 상태를 파악했다. 이 모델링은 두 가지 시나리오를 담고 있는데, 한 가지는 모든 차량이 석유로 움직이는 경우와 다른 한 가지 시나리오는 E85연료를 사용하는 경우였다. 만일 모든 자동차가 E85를 사용하는 경우 그는 미국의 일부 지역에서 인간의 호흡기에 나쁜 영향을 줄 수 있는 오존의 양이 증가한다는 사실을 발견했다.

브라질의 바이오연료의 소비증대는 Amazon 우림과 Cerrado 지역의 거대한 Savanna 생태계의 훼손을 가져올 것이라고 환경론자들은 경고하였다. 사탕수수 재배를 위한 대규모 농장 확대는 수질문제, 생물종 다양성 상실 및 서식처 상실의 문제 등 많은 문제를 야기시키는 것으로 예상하고 있다.

2007년 4월 영국의 투자은행 UBS 경제전략 분석가

Roger Brown은 “최근 발생하고 있는 인플레이션 증가 원인은 기후와 연관된 전 세계적인 식량공급의 감소로 인한 식품가격의 상승”이라고 보고서에서 지적하고 있다. 이 보고서를 접하면서 21세기의 화두가 되는 인구증가, 에너지 대량 사용, 지구온난화, 식량부족이라는 단어가 피부 깊숙이 와 닿게 된다.

영국과 네덜란드를 포함한 유럽 국가들은 기상기록이 실행된 이후로 가장 더운 봄을 겪었다. 그 결과 2007년 여름에는 식수배급과 에어컨디셔너와 냉장고 사용의 증가로 인한 일시적 정전현상이 일어날 것으로 예상하고 있다. 이러한 현상은 경제활동의 혼란을 일으키고 잠재적으로 수백만 파운드의 비용손실을 초래할 것으로 판단하고 있다. 또한 채소와 과일 작황이 나쁜 경우 인플레이션의 증가를 유발하고 소위 청정연료인 에탄올과 바이오디젤의 생산을 위해 식용작물이 바이오연료로 생산으로 전환되어 옥수수의 가격상승을 유발할 것으로 보고 있다.

바이오 연료생산을 위한 팜오일을 경작하는 농장은 인도네시아 우림에 새로운 환경적 재앙을 유발하고 있다. 600만 헥타르의 삼림이 인도네시아 정부에 의해서 팜오일 재배 농장으로 할당되었다. 팜오일은 전통적으로 음식에 사용되어 왔는데, 이제는 기존 연료와 혼합하여 바이오 디젤 중 가장 저렴한 종류의 연료를 생산하는 재료로 사용되어 진다. 삼림의 많은 지역이 팜오일 재배 농장으로 전환되고 있으며, 멸종위기에 처한 오랑우탄과 같은 생물종의 서식처들이 사라지고 있다. 삼림을 없애 새로운 바이오 연료를 생산하는 것은 바이오 연료를 사용하여 온실가스를 저감시키는 것이 아니라, 오히려 더 많은 온실가스를 생산하는 결과를 초래할 수 있는 것이다.

맺는말

재배물계 바이오메스 에너지 중에서 옥수수를 이용하여 에탄올을 생산하는 바이오연료는 인구증가를 고려하지 않고 단순하게 곡물을 사용하는 방식의 연료라는 측면

에서 세계 식량의 균형적 측면에서 논란이 되고 있다. 토지 이용 측면에서 바이오에탄올 작물은 식량 작물과 경쟁 관계에 있으며, 바이오에탄올의 수요는 에탄올 작물을 경작하기 위한 더 많은 경작지를 필요로 하고 있으며, 이러한 필요는 산림 벌채의 압력을 증가시키고 있다. 또한 재배물계 바이오에탄올은 연료 사용 후 배출가스 측면에서도 환경친화적이지 못하다는 결과에 대한 반증을 보여야 대체에너지로서의 역할을 수행할 수 있으리라 판단한다.

바이오에탄올은 주로 옥수수과 사탕수수를 이용하여 제조하며, 생산 제조공정에서 에너지가 필요하게 되어, 결과적으로 온실가스를 배출한다. 에탄올 생산 공정의 에너지 수지에 대한 열역학적 고찰이 필요하다. 현재 연구 보고 단계에서는 바이오에탄올의 전체 탄소 배출이 실제적으로 화석 연료의 탄소 배출보다 더 적은지의 여부가 불명확하다. 또한 재배물계 바이오에탄올은 농작물 재배 단계에서 환경오염물질인 비료와 살충제가 필요하다.

21세기는 환경오염 저감을 위한 대체에너지 개발의 문제와 인구 증가에 따른 식량생산의 문제를 병행하여 해결해야 하는 근본적인 난제를 안고 있다. 바이오연료는 하루 2달러 미만으로 생활하는 30억의 인구와 자가용을 소유한 전 세계 8억 인구 사이의 생존을 위한 경쟁하게 되는 경제적인 난제에 봉착할 것이다.

따라서 성급하게 바이오연료 사용을 위한 전환을 결정하기 전에 총체적인 접근을 할 필요가 있다. 환경적인 고찰뿐만 아니라, 에너지 기여도, 경제성, 에너지 시스템적용을 위한 사회 시스템적 성숙성, 자원측면, 지속 가능 사용에 대한 성장성, 그리고 인구 증가, 대체연료와 식량과의 관계 등 다각적인 연구를 모색해야 한다.

에너지와 관련된 경제, 환경, 안보 문제를 강조하기 위한 새로운 정책을 수립해야 할 것이다. 환경과 경제성을 동



시에 만족시킬 수 있는 바이오연료 생산기술 확보가 향후 국제 바이오연료 시장의 주도권과 부가가치를 창출하리라 본다.

그러나 궁극적으로 화석연료 석유에너지의 대체에너지는 석유와 같은 연소시켜서 에너지를 생산하는 벌크형이 아닌 태양에너지, 연료전지와 같은 전혀 다른 형태의 에너지로 전환되어야 하며, 에너지 사회 시스템을 어느 한 순간에 변형시키지는 못하겠지만, 서서히 점진적으로 제 3의 대체에너지 연료형태로 변환되어야 한다. 이런 장기적인 에너지 연료형태 맥락에서, 바이오에탄올은 결코 바람직한 미래형 에너지는 아니라고 생각한다.

Thomas R. Malthus가 그의 저서 인구론에서 지적한 바와 같이 인류의 식량문제를 기술개발이라는 녹색혁명을 통해 이룩했듯이, 지혜로운 인류는 기술적인 능력을 발휘하여 21세기가 안고 있는 에너지 문제와 식량 부족의 난제를 해결하리라 믿는다. 