

## 수송용 바이오에너지 개발과 미래

정재훈 · 권기석<sup>1</sup> · 장한수<sup>2\*</sup>  
동양대학교, <sup>1</sup>경북바이오산업연구원 연구개발부,  
<sup>2</sup>안동대학교 생명자원과학부

**Development of Transportation Bio-energy and Its Future. Chung, Jay H., Gi-Seok Kwon<sup>1</sup>, and Han-Su Jang<sup>2\*</sup>.** Dongyang University, 1 Kyochon-dong, Poonggi, Youngju, Kyungbuk 750-711, Korea, <sup>1</sup>School of Biore-source Sciences, Andong University, Andong 760-749, Korea, <sup>2</sup>Department of Research and Development, Gyeongbuk Institute for Bioindustry, Andong 760-380, Korea - Negative environmental consequences of fossil fuels and the concerns about their soaring prices have spurred the search for alternative energy sources. While other alternative energies - like solar, wind, geothermal, hydroelectric, and tidal - offer viable options for electricity generation, around 40% of total energy consumption requires liquid fuels like gasoline or diesel fuel. This is where bio-energy/biofuels is especially attractive, where they can serve as a practical alternative to oil. The production of liquid biofuels for transportation will depend upon a stable supply of large amount of inexpensive cellulosic biomass obtained on a sustainable basis. This paper reviewed development status of transportation bio-energy for vehicles, technical barriers to the production of cellulosic ethanol, and the global future of bio-diesel and ethanol production.

**Key words:** Biomass, biofuel, cellulosic ethanol

### 서 론

국제 유가가 배럴당 이미 90달러를 넘어서고 있는 상황에서 지구온난화의 주범인 온실가스의 배출량을 억제하려는 국제적인 노력이 각국에서 진행되고 있다. 이러한 상황에서 전 세계는 온실가스 배출의 주요 원인인 화석연료의 사용을 극소화하고 그것을 대체할 만한 다양한 에너지원의 개발에 박차를 가하고 있으며 이러한 대체에너지원(Alternative energy resource)에 대한 국내외 기업들의 관심도 증가하고 있다. 현재 이용 가능한 대표적인 대체에너지로는 바이오연료, 태양열, 풍력 등이 대두되고 있으나[2], 이 가운데 바이오에너지의 범주에 포함되며 수송용 연료로서 이미 해외에서 상용화되고 있으며 바이오디젤(Biodiesel) 및 바이오에탄올(Bioethanol)에 초점을 맞추어 국내외 개발현황을 살펴보고 바이오에너지 상용화에 따른 문제점 등에 대해서 조사하였다.

#### 대체에너지를 위한 국제적 노력

기후변화 정부간 위원회(Intergovernmental Panel on Climate Change)가 발표한 2007년도 보고서에 따르면 지구 평균기온이 1.5~2.5°C 상승할 경우 현재 지구상에 생존하고

있는 생물종의 약 30%가 멸종위기를 맞을 것으로 예측[5] 하였다. 국제적 자연보호단체인 세계 야생생물 기금(World Wildlife Fund)의 2006년도 보고서에서도 1970~2003년 사이에 사라진 생물은 육상종의 경우 31%, 민물종의 경우 31%, 바다종의 경우는 27%에 이른다고 발표하였으며, 이러한 생물의 빠른 멸종을 가져온 요인을 지구온난화 등 기후변화로 보고 있다[6]. 또한 이 보고서에서는 기후변화의 주범으로 알려진 화석연료의 무절제한 사용으로 인해 지구 재앙을 초래할 것으로 경고하고 있다[6]. 이러한 이유로 인해 각국에서는 화석연료에 대한 의존도를 낮추기 위해 대체에너지 개발에 매진하고 있으며 인류의 생존을 위해 절박하면서도 중요한 대체 에너지 개발은 생태계의 지속적인 성장 잠재력을 보유한 새로운 산업영역으로 각광을 받고 있기도 하다.

세계에너지 기구(International Energy Association)에서는 2005년 대체에너지 개발에 투자된 비용은 전 세계적으로 약 380억 달러에 이른다고 보고하고 있다[4]. 이러한 비용은 각종 생산 활동을 위해 필요한 전력생산에 투자된 비용의 30~40%에 해당되는 금액이다. 대체에너지 투자액은 유가가 급등하기 시작한 2002년을 기점으로 급격히 증가하기 시작했다. 앞으로도 각국 정부의 에너지 공급원 다변화 및 이산화탄소 배출과 같은 환경문제의 해결 노력에 힘입어, 대체에너지 개발에 대한 투자 규모는 더욱 증가할 것으로 예상된다. 국제연합(UN)은 2020년까지 전 세계 에너지원 가운데 대체에너지의 비중을 10%로 높일것다는 목표를 가지고

\*Corresponding author  
Tel: 82-54-6905, Fax: 82-54-5901  
E-mail: hschang1007@hanmail.net

개발을 적극적으로 유도하고 있다[2]. 현재 세계 각국에 추진하고 있는 대체에너지원으로는 태양열, 바이오에너지, 풍력, 지열, 조력 발전 등을 들 수 있다. 이 가운데 바이오에탄올과 바이오디젤로 대표되는 바이오에너지는 수송용 연료로서 그 활용이 기대되며, 환경오염 물질의 배출도 적게는 30% 이상 많게는 90%까지도 줄일 수 있는 장점으로 인해 전 세계적으로 바이오에너지에 대한 관심이 높아지고 있는 상황이다[10].

1997년 체결된 교토의정서는 선진 38개국에 대해 2012년까지 온실가스 배출량을 평균 5.2% 줄이라는 온실 가스 감축의무에 관한 내용을 담고 있다. 이에 따라 2002년 런던증권거래소에 ‘탄소배출권 거래시장’이 개설되었고, 2005년에는 영국과 독일에서 탄소배출권에 관련된 현물거래가 시작되었다[9]. 세계은행에 따르면 2004년 세계 탄소배출권 거래 규모는 10억 달러 미만이었으나 2005년 110억 달러, 2006년에 300억 달러를 넘었고, 2010년이면 1,500억 달러에 이를 것으로 추정(Table 1)하였다[3, 7].

**해외의 바이오에너지 개발 현황**

바이오에너지란 자연계에 있는 바이오매스(biomass)로부터 만들어지는 지속가능한 에너지원(sustainable development energy resources)을 말한다[9]. 바이오매스는 생물체의 유기물을 총망라하는 것으로 각종 동식물을 비롯하여 농업에서 나온 부산물 및 폐기물, 음식물 쓰레기, 생물체에 기초한 산업폐기물, 바이오에너지 생산을 목적으로 재배된 작물(에너지 작물) 등 그 종류가 매우 다양하다. 바이오매스는 물리, 화학, 생물학적 기술들이 적용되어 고체, 액체, 기체 상태의 바이오연료로 전환될 수 있다. 이러한 바이오에너지의 대표적인 예로는 바이오에탄올(bioethanol), 바이오디젤(biodiesel), 바이오가스(biogas) 및 기타 고품 연료 등을 들 수 있다[10]. 이 가운데 앞서 언급한 바와 같이 바이오에탄올과 바이오디젤이 수송용 연료로서 크게 각광을 받고 있는 상황이다. 바이오에탄올은 현재 옥수수, 사탕수수 등의 전분을 발효시켜 만드는 게 대부분이며, 바이오디젤은 콩과 유채의 종자유로부터 추출하여 생산을 하는 것이 주종을 이루고 있다[8]. 이러한 점에서 볼 때 바이오에탄올과 바이오디젤의 생산 및 상용화는 원료작물의 재배와 불가분의 관계를 가짐을 알 수 있다. 따라서 이러한 바이오에너지원은 원료수급의 문제를 해결하는 것이 상용화로 가는 지름길이라고 할 수 있다. 바이오에너지 생산 주요 국가별 바이오에너지 개발 현황은 다음과 같다.

**Table 1. Market of carbon credit [7].**

	2004 (Year)	2005 (Year)	2006 (Year)	2010 (Year, consumption)
Market size (Hundred million \$)	9.8	110	300	1,500

① **브라질:** 온실가스 배출억제와 에너지 독립을 선언하면서 1979년부터 바이오에탄올을 상용화하기 시작한 브라질은 세계 최대의 바이오에탄올 생산 국가이다. 브라질에서는 자국에서 생산되는 풍부한 사탕수수를 이용하여 연간 160억 리터(35억 갤런)를 생산하고 있으며 이는 전 세계 바이오에탄올 생산량의 절반에 해당되는 양이다[13]. 또한 브라질에서는 자동차 연료의 25% 이상을 의무적으로 바이오에탄올로 사용하여야만 한다. 또한 브라질에서는 바이오에탄올의 수출도 적극적으로 장려하여 2006년에는 34억 리터를 해외에 수출(Table 2)하고 있다[13]. 최근에는 정책적 차원에서 바이오디젤의 개발에도 노력을 하고 있는 상황이다.

② **미국:** 세계 최대의 에너지 소비국인 미국은 바이오에너지 개발에서도 앞서가고 있는 국가이다. 현재로서는 바이오에탄올 생산을 위하여 주로 옥수수를 이용하고 있는데 미국에서 생산되는 옥수수의 약 12%를 바이오에탄올로 만들어 국내 에너지 수요의 약 3%를 충당하고 있다. 또한 10년 내에 미국에서 사용되고 있는 휘발유의 20% 사용을 줄이는 ‘20 in 10’ 정책을 발표하였다[12]. 이것은 2017년까지 미국 내에서 사용되는 휘발유 350만 갤런을 줄이자는 내용을 담고 있다. 또한 2030년까지 휘발유 30%를 바이오에너지를 포함한 대체에너지로 줄이자는 장기적인 ‘30 in 30’ 정책도 발표하였다. 계획대로 정책이 수행되었을 경우 미국에서 바이오에너지의 사용은 연간 600갤런(Table 3)에 이를 것으로 전망된다[12].

**Table 2. Exports status of Bio-ethanol in Brazil [13].**

Year	Exports (Liters, Billions)	Exports amount (US \$, Millions)
1997	0.146	54
1998	0.118	36
1999	0.407	66
2000	0.227	35
2001	0.346	92
2002	0.759	169
2003	0.757	158
2004	2.408	498
2005	2.592	766
2006	3.428	1605

**Table 3. Plan of cellulosic bio-ethanol for production cost saving in U. S. (\$/gallon) [12].**

Cost element	2005 year	2009 year (Target)	2012 year (Target)
Feedstock	0.90	0.79	0.44
Prehydrolysis/treatment	0.44	0.31	0.25
Enzymes	0.32	0.32	0.11
Saccharification and fermentation	0.31	0.27	0.10
Distillation and solid recovery	0.18	0.17	0.17
Balance of plant	0.34	0.27	0.24
Total	2.50	2.13	1.31

③ 유럽연합 (EU): 유럽연합은 바이오에너지를 2005년에 2%, 2010년에 5.75%를 혼합해서 쓰도록 명시한 교토의정서 (Kyoto protocol)을 가장 잘 준수하고 있다. 유럽은 이미 지구상에서 가장 많은 바이오디젤을 생산하고 있으며 생산량을 매년 30%씩 늘리고 있다[8, 9, 10]. 바이오디젤의 주요 원료는 콩, 해바라기, 팜, 피마자, 유채 등이라고 할 수 있는데 유럽연합은 유채를 주요 대상으로 하여 바이오디젤을 생산하고 있다. 또한 유럽연합의 Biomass Action Plan에 의하면 2015년까지 유럽연합의 총 운송용 에너지의 8%를 바이오에너지로 대체할 수 있도록 그 생산량을 대폭 늘릴 계획을 가지고 있다[10].

④ 한국의 주변국가: 우리와 이웃한 나라들도 매우 적극적인 움직임을 보여주고 있다. 중국은 세계에서 두 번째로 큰 에너지 소비국으로서 바이오에너지 관련 기술을 수 십년간 축적해 왔다. 현재 바이오에탄올 생산량은 30억 리터로 세계 3위에 해당되는 수치이며 바이오에너지 영역에서의 산업화 개발 능력은 세계 2위권에 진입한 상태이다[8, 9]. 또한 중국 중앙 및 지방정부가 바이오에너지 강제추진정책을 실시해 바이오에너지 산업은 더욱 가속도가 붙을 것으로 전망된다. 한 예로 지난 6월에 발표한 '중장기 과학기술발전 계획요강'에 의하면 중국정부는 바이오에너지 기술개발 산업화 계획을 수립하고, 4개의 공장에 보조금을 지불하여 연간 바이오에탄올 생산 목표를 102만 톤으로 책정하였다[10].

인도네시아는 광대한 토지와 많은 천연자원을 보유한 나라로 환경 친화적인 바이오에너지를 개발할 수 있는 막대한 잠재력을 갖추고 있다. 이미 국내외에서 약 170억 달러에 해당되는 투자금을 유치하고 있다고 알려져 있다. 다국적 기업인 BP(British petroleum)가 바이오에너지 사업에 참여하기 위하여 현지 업체와 제휴를 하고 있으며 중국의 3위 에너지 업체인 중국 해양석유 총공사(CNOOC)는 50억 달러를 투자하여 바이오디젤 플랜트를 건설하기로 했다[3]. 이 밖에도 인도네시아가 가지고 있는 풍부한 바이오에너지 원료자원을 선점하기 위하여 투자하고 있는 상황이다. 인도네시아의 2007년 바이오에너지 생산량은 약 60만 킬로리터이나 인도네시아 정부의 바이오에너지 개발 프로그램 로드맵에 의하면 2025년에 바이오에너지 수요가 2,226만 킬로리터로 증가할 전망(Fig. 1)이다[8].

말레이시아는 2006년 1억 5900만 톤의 crude palm oil을 생산해 인도네시아와 함께 전 세계 팜 오일의 약 85%를 생산하는 세계 최대 팜 오일 생산국이다. 팜 오일의 일부를 바이오연료 생산에 사용할 경우 과잉 생산된 팜 오일의 재고 처리 등 세계 시장에서 팜 오일 가격의 안정 및 이로 인한 팜 오일 산업의 안정적인 성장을 기대할 수 있어 정부차원에서 바이오디젤 도입에 적극적인 모습을 보이고 있는 상황이며 통상 말레이시아에서 바이오디젤은 팜 오일에서 추출된 팜 바이오디젤을 의미하고 있다. 2006년 승인된 83건의 프로젝트 중 4건만이 실제 생산에 돌입했으며 대다수는 아

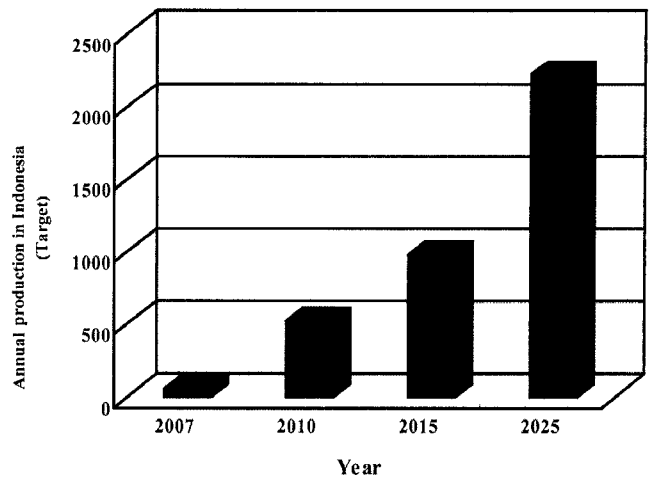


Fig. 1. Goal of bioenergy production in Indonesia [3].

직 승인된 프로젝트의 계획 수립 및 공장 설립이 진행되는 과정이다[3].

일본은 2007년 4월부터 휘발유에 바이오에탄올을 혼합한 연료 시판을 허가하였다. 만약 바이오에탄올을 3% 혼합한다면 전국적으로 연간 18억 리터의 바이오에탄올이 필요하게 되며 혼합 비율을 10%로 높인다면 연간 60억 리터가 필요하게 될 것이다. 일본은 곡물 대신 밀짚이나 옥수수 줄기 등 식용으로 사용할 수 없는 농작물의 부산물 일부분만을 바이오에탄올의 제조 원료로 사용하려는 시도를 해오고 있다. 하지만 나무나 잡초 등 비식용 식물자원을 바이오에탄올의 발효기질로 사용할 경우, 조직내에 존재하는 셀룰로오스 (cellulose)나 리그닌(lignin) 등을 효소나 미생물을 이용하여 포도당의 형태로 분해하여야 한다. 이를 위해 일본은 셀룰로오스 바이오에탄올 프로젝트를 활발히 진행하고 있다[14].

⑤ 국내의 바이오에너지 개발 현황: 우리나라는 현재 온실가스 배출량 세계 10위 국가이고 국내총생산(GDP) 12위에 해당되는 국가이나 교토의정서 작성 당시 개발도상국으로 인정받아 1차 감축 의무대상국에 포함되지 않았다. 따라서 현재까지는 온실가스 배출 규제를 받지 않고 있는 상황이다. 하지만 1990~2004년 한국의 연평균 온실가스 배출량 증가율이 4.7%로 경제협력개발기구(OECD) 회원국 중 가장 높아, 2013~2017년에 시행될 2차 온실가스 의무감축 국가에 포함될 가능성이 매우 높다고 할 수 있다. 이에 정부는 우리나라 온실가스의 83%가 화석 에너지 사용의 결과로 배출되고 있는 사정을 감안해, 현재 전체 에너지 사용량 가운데 2%대에 머물고 있는 신재생에너지 비중을 2030년까지 9%대로 늘리고 43%인 석유 의존도는 2030년까지 35%로 낮추기로 하였다. 또한 정부는 2007년 9월에 이를 위해 현재 0.5%의 혼합비율을 허용하고 있는 바이오디젤을 단계적으로 높여서 2012년까지 3%로 높일 계획을 발표하였다.

정부는 2007년 8월 국가에너지 위원회를 열고 '기후변화 대응 신국가전략'을 발표하였다. 이에 따르면 정부는 2011년까지 695억을 지원하여 국내에 탄소배출권을 사고팔 수

있는 탄소시장을 개설할 계획이다. 이로써 지구온난화의 주범인 온실가스를 줄이는 한편 환경친화적인 에너지원을 개발하여 세계 친환경 시장을 선점하겠다는 계획을 가지고 있다. 전문가들은 2020년경 바이오에탄올의 지역적 수요공급의 불균형으로 바이오에탄올 수송이 활발해질 것으로 예상하고 있다. 이러한 지역적 불균형은 수요가 많은 지역의 원료부족에 의해 촉발될 것이며 이는 국내의 조선업 및 해운업의 활성화를 가져오는 계기가 될 것이다.

**바이오에너지 개발의 문제점**

① **발효공정상의 문제점:** 바이오에탄올 생산을 위한 원료자원은 당질, 전분질, 목질계 자원으로 나눌 수 있다. 이러한 자원의 장단점을 살펴보면 당질과 전분질은 바이오에탄올 생산을 위해 좋은 원료자원임에는 분명하지만, 당질자원의 지역적 한계와 전분질 자원이 식량자원이라는 점을 고려한다면 원료자원 조달에 한계와 원료자원의 비용이 높다는 한계점을 가지고 있다[11, 12]. 이러한 상황에서 목질계 자원이 바이오에탄올의 원료자원으로 각광을 받고 있다. 목질계 자원은 폐신문지나 폐목재 등과 같은 폐자원을 활용한다는 측면에서 환경적, 경제적으로 큰 강점을 가지고 있으나 기술적으로 극복해야 할 점들을 가지고 있다[11].

목질계자원에 함유되어 있는 셀룰로오스 성분은 포도당으로 구성되어 있는 다당류이므로 셀룰로오스 성분을 효율적으로 분해하는 시스템을 개발해야만 한다. 현재까지 셀룰로오스 성분을 분해하여 포도당으로 전환시키는 공정은 pin milling, ball milling 장치 등과 같은 물리적 공정, 산이나 알칼리를 이용하여 분해하는 방법 및 cellulase 등을 이용한 효소적인 방법들이 개발되어 있다[8-10]. 그러나 이러한 방법들을 각각의 문제점을 가지고 있다. 즉 효소적인 처리나 물리적인 공정만으로는 포도당으로 형태로 셀룰로오스의 전환이 효율적이지 못하며, 산이나 알칼리 처리 등에 의해 셀룰로오스는 포도당의 형태로 분해되나 산이나 알칼리의 회수 등의 문제점들이 있다(Table 4). 따라서 미국 등에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 막대한 연구비를 지원하고 있는 상황이다[11, 15].

② **원료자원의 안정적 조달 및 원료작물의 개발:** 바이오에너지 개발에 있어서 가장 큰 어려움 가운데 하나는 생산원료의 안정적 공급이라고 할 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 국지적인 원료 공급처만을 감안하지 않고 전세계적인 네트워크를 구성해야만 할 것이다. 특히 국내의 경우 2007년부터 진행되고 있는 유채 재배 시범단지 조성 사업 과 유희농지에 대한 활용방안에 대해 심도있는 자료를 만들며, WTO와 FTA로 인해 곤경에 처한 국내 농업의 활성화 할 수 있는 계기로 만들어야 할 것이다. 현재 미국에서 보고된 자료에 의하면 Switchgrass(*Panicum virgatum*)는 5년에 평균 에이커 당 11.5톤을 생산한다고 알려져 있다[11]. 이것은 연간 에이커 당 1150 갤런(1750 리터/ha/년)의 바이오에탄올을 충분히 생산할 수 있는 양으로, 옥수수에서 생산되는 바이오에탄올과 비교한다면 생산량이 3배 이상이다. 더구나 옥수수 재배에 소요되는 농기계, 관개수, 비료 등을 포함한 그 생산비를 감안한다면 Switchgrass에서 생산되는 바이오에탄올의 생산수율은 옥수수로부터 생산되는 바이오에탄올에 비해 15~20배의 경제성을 가지고 있다고 할 수 있다. 또한 이 식물은 이상기후에 강하고 척박한 땅에도 쉽게 적응이 되며 뿌리가 깊이 내려서 토양유실방지에 좋고 영년생이므로 한번 파종하면 10년까지 계속 수확할 수 있는 장점이 있다. 이 밖에도 역새풀을 이용하여 바이오에탄올을 생산한 결과 높은 바이오에탄올 생산 가능성을 나타내었다는 보고도 있다[11]. 미국 에너지부 (Department of Energy)에서는 셀룰로오스를 이용한 바이오에탄올 생산에서 배출되는 온실가스의 양과 오염도가 전통적으로 사용되고 있는 옥수수 유래의 바이오에탄올보다 훨씬 낮으며 그 수확량도 현저히 많다고 보고하고 있다[2, 11, 15].

**결 론**

바이오에너지 개발에 있어서 무엇보다도 중요한 것은 중앙 정부와 지자체의 적극적인 관심과 지원이라고 할 수 있다. 고유가가 상태가 장기적으로 지속될 것이라는 전망에 따라 각 국가에서는 바이오에너지 개발에 많은 연구비 지원과

**Table 4. Overcoming technology barriers to reduce costs of biofuel conversion.**

Barriers	Solution
High cost of enzymatic conversion	➔ R&D to improve effectiveness and reduce costs of enzymatic conversion
Inadequate technology for producing ethanol from sugars derived from cellulosic biomass	➔ R&D on advanced microorganisms for fermentation of sugars
Limitation of thermochemical conversion processes	➔ Re-establish thermochemical conversion as second path to success
Demonstration/integration of technology in biorefineries	➔ Fund loan guarantees, commercial biorefinery demonstration, and 10% scale validation projects
Inadequate feedstock and distribution infrastructure	➔ Form interagency infrastructure and feedstock teams

세계혜택 등 다양한 형태의 지원을 하고 있는 상황이다. 이러한 추세에 따라 국내에서도 활발하게 바이오에너지 활용에 대해 지자체 별로 사업을 진행하고 있다. 그러나 아직까지 국내에서는 바이오디젤에 대해서는 2006년 7월부터 일반 주유소에서 BD5(디젤유에 바이오디젤을 5%까지 혼합한 연료)의 시판이 허용[1]되었으나 전 세계적으로 볼 때 그 생산량이 10배에 가까운 바이오에탄올의 시판은 아직 허용되지 않은 상태이다. 이러한 문제점들에 대해 신속한 실증사업이 종료되어서 바이오에탄올의 상용화가 진행되어야 할 것이며 2007년도 정부에서 바이오디젤의 일반 디젤유 포함 비율을 현재의 0.5%에서 점진적으로 높여서 2012년까지 3% 수준으로 올린다는 발표가 있으나 이러한 수준으로는 바이오디젤이 갖고 있는 장점들을 극대화 한다고 할 수 없다. 현재 외국에서는 바이오디젤을 일반경유에 20%의 비율까지 첨가한 BD20이 주종을 이루고 있으며 환경단체나 바이오디젤 생산업체에서는 100% 바이오디젤 상용화도 주장을 하고 있고, 일부 국가에서는 시범적으로 이러한 제품을 판매하고 있다.

국내에서 소비되는 수송용 연료자원의 대부분을 해외 수입에 의존하고 있는 국내 현실을 놓고 볼 때 바이오에너지 사업은 국가의 장래가 달린 중대한 사업임에는 모든 사람들이 공감하고 있다. 또한 전 세계적으로 에너지원에 대한 확보에 대한 보이지 않는 전쟁이 시작된 시점에서 신속하면서도 실용적이고 현실적인 바이오에너지에 대한 연구, 생산설비의 확충과 같은 기본 인프라 구축 및 지속적인 조세감면이나 보조금제도, 최소혼합비율 상향조정 등과 같은 제도적인 체계 등이 폭넓게 강구되어야만 할 것이다.

## REFERENCES

1. Bae, J. H. 2007. Promotion Policy of Biodiesel in Korea.

- International Conference on the Commercialization of Bio-fuels*. pp. 18-23.
2. Hill, J., E. Nelson, D. Tillman, S. Polasky, and D. Tiffany. 2006. Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels. *PNAS*. **103**: 11206-11210.
3. <http://www.globalwindow.org>
4. <http://www.iea.org>
5. <http://www.ipcc.cli>
6. <http://www.panda.org>
7. <http://www.worldbank.org>
8. Kang, H. C. 2007. Analysis and Estimation of Bio-energy in Korea. *Issue Paper of Samsung Economic Institute*. pp. 3-35.
9. Kim, K. J. 2001. Alternative Fuel. *LG Weekly Economist*. pp. 22-27..
10. Kim, K. J. 2006. Bio-energy. *LG Weekly Economist*. pp. 16.
11. Office of science and office of energy efficiency and renewable energy. 2006. *Biofuel Joint Roadmap*, pp. 6-33. Department of Energy in U. S.
12. Skeer, J. 2007. Biofuel Goals and Promotion Policies in the United States. *International Conference on the Commercialization of Bio-fuels*. pp. 8-17.
13. Strapasson, A. 2007. Promotion Policy of Biofuel in Brazil. *International Conference on the Commercialization of Bio-fuels*. pp. 31-39.
14. Takasune, I. and S. Goto. 2007. Biofuel Policy in Japan and Biodiesel Fuel Standard in Japan. *International Conference on the Commercialization of Bio-fuels*. pp. 24-30.
15. Vincent, H. V., K. K. Kreikemeier, H. G. Jung, and R. D. Hatfield. 1993. In vitro stimulation of forage fiber degradation by ruminal microorganisms with *Aspergillus oryzae* fermentation extract. *Appl. Environ. Microbiol.* **59**: 3171-3176.

(Received Jan. 21, 2008/Accepted Feb. 20, 2008)