

미국 에너지 시장에 공급되는 바이오에너지에 관한 연구(III)

- 바이오매스를 이용한 에탄올 생산과 원료공급에 대하여-*1

김 영 숙*2† · Thomas Gorman*3

Biomass Energy in the USA : A Literature Review (III)

- Bioethanol production from Biomass and Feedstock Supply -*1

Yeong-Suk Kim*2† · Thomas Gorman*3

요 약

최근 미국 에너지 시장에서 수송용 바이오연료 생산과 바이오매스자원으로부터의 원료공급 가능성 등에 대하여 조사 연구되었다. 미국의 국가에너지정책의 1차 목표는 수입원유에 대한 의존을 줄이고 다양한 국내자원으로 에너지생산을 증가시키는 것으로 2030년에는 현재 수송용 에너지의 20%를 바이오연료로 대체할 목표이다. 정책적으로 청정공기법령(Clean Air Act), 연방청정연료(Federal Clean Fuel) 프로그램 및 American Jobs Creation Act를 통하여 바이오연료 사용을 증가시키는 노력을 하고 있다. 에너지 원료로서 산림바이오매스는 연간 3억 6800만 dry tons, 농업에서 얻어지는 원료는 현재의 BT기술을 이용한 작물품종 및 경작기술 개발, 농지사용 변화를 기반으로 했을 때 년 간 총 9억 9800만 dry tons이고 이중에서 목질계 바이오매스는 8억 1800만 dry tons이다. 현재의 농업상황에서 생산되는 량의 5배에 해당하는 바이오매스 공급가능성이 예측되었다.

ABSTRACT

This study was reviewed on the bioethanol production from biomass resources and feedstock

* 1 접수 2007년 1월 8일

이 연구는 국민대학교 교내연구비(2005)지원에 의해 수행되었음.

* 2 국민대학교 임산공학과, Dept. of Forest Products, College of Forst Science, Kookmin University, Seoul 136-702

* 3 Dept. of Forest Products, College of Natural Resources, Moscow, Idaho, USA.

† 주저자(corresponding author) : 김영숙(e-mail: yskim@kookmin.ac.kr)

supply in America. U.S. Department of Energy (USDE) and the U.S. Department of Agriculture (USDA) are both strongly committed to expand the role of biomass as an energy source. They support biomass fuels and products as a way to reduce the need for oil and gas imports, to strengthen the nation's energy security and environmental quality. And it was envisioned a 20 percent replacement of the current U.S. transportation fuel consumption in 2030. Also it was reviewed policies to encourage the expanding of Bio-based fuel use to replace gasoline, such as Clean Air Act, Federal Clean Fuel Program and American Jobs Creation Act. In feedstock supply it was assumed forest biomass will be supplied in 368 million dry tons yearly and the agriculture derived biomass adopted by new technologies and land use change will be supplied in 998 million dry tons, including highly 818 million dry tons of lignocellulosic biomass such as perenial crops (hybrid trees, grasses) corn stover, other crop residues. This amount is 5 times to the amount from based current agricultural technology and crop land.

Keywords: Bioenergy, Bioethanol, Biomass, Feedstock supply

1. 서 언

2007년도 우리나라 에너지 및 자원분야 예산은 고유가 요인 등이 반영돼 2006년보다 5446억원이 증액된 4조 3118억여원이 책정돼 운영될 전망이다. 특히 신재생에너지개발에 1326억원을 투입하는 등 신재생에너지사업의 총예산은 2006년 대비 225억원 정도가 늘어난 4321억원으로 책정됐다. 이 같은 예산 증액은 교통세가 교통에너지환경세로 전환돼 총 11조 규모의 3%를 에너지 분야에 배정함에 따라 대폭 증액된 것으로 고유가행진으로 인한 국가에너지 안보의 시급성을 대변하는 조치로 여겨진다(에너지관리공단 신재생에너지센터, 뉴스레터 2006).

특히 국제원유가격의 앙등으로 수송용 에너지의 대체자원개발이 세계적으로 에너지개발 정책의 핵심이 되고 있고, 자동차산업분야에서도 청정에너지를 이용한 엔진개발 등이 경쟁적으로 이루어지고 있다(에너지관리공단, 신재생에너지센터, 2006).

석유대신에 주목받는 수송용 대체에너지 중의 하나로 바이오매스를 이용한 바이오디젤과 에탄올을 들 수 있다. 이들은 100% 순도 디젤이나 에탄올로 휘발유에 직접 대체될 수도 있고 일부 휘발유나 디젤유에 10~15% 정도 혼합해서 사용할 수 있다. 이

들 바이오연료는 식물, 즉 재생산성자원을 이용함으로써 지구 온난화에 미치는 영향이 석유제품의 연료에 비해 낫다는 장점을 갖는다. 최근연구결과에 의하면 휘발유에 에탄올 10%만 혼합하여도 자동차배기관의 미세분진(PM)이 50% 감소되고 휘발유의 방향족물질을 희석하여 2차 PM 물질 형성을 감소시키는 효과를 가지며, CO 배출은 30%까지, 유독물질은 13%까지 감소시키는 효과를 갖는 것으로 보고되고 있다(RFA, 2005). 더욱이 에탄올은 휘발유연소에 도움이 되는 산소를 35%나 함유하고 있어 휘발유와 혼합하면 연소상승효과의 역할을 하기도 한다. 세계 1위의 에너지 소비국인 미국은 지난 20여년에 걸쳐 다양한 종류의 바이오매스를 이용하여 수송용 에너지를 연구 개발하고 수 년 내에 바이오에탄올 가격을 휘발유가격에 경쟁할 수 있을 정도로 낮추고자 하는 목표로 R & D 사업에 투자하고 있는 상황이다(Genecor International, Inc., 2003). 미국의 에너지 시장은 그 규모가 크고 범세계적으로 미치는 영향이 매우 크므로 미국의 에너지 정책과 시장을 분석하는 일은 그 중요성이 크다고 할 수 있다.

본 보고에서는 미국에서의 바이오에탄올 생산과 수요 동향, 에너지 원료공급 가능성에 대하여 조사하여 바이오매스를 이용한 국내 대체에너지 개발에 필요한 기초자료를 확보하고자 하였다.

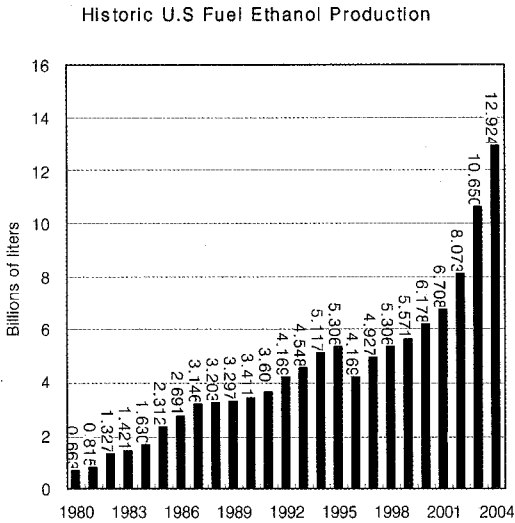


Fig. 1. Historic U.S. Fuel Ethanol Production (Source : RFA, 2005).

2. 미국 에너지시장에서 수송용 바이오 에탄올

2.1. 바이오에탄올 생산

미국의 국가에너지정책의 1차 목표는 수입원유를 줄이고 다양한 국내자원의 에너지생산을 증가시켜 에너지 안보를 확보하는 것이다. 2002년 미국에서 화석연료 같은 비재생산성 에너지소비하는 전체소비의 86%에 달하였고, 그 중에서 수입원유가 차지하는 비율이 62%이었으나 2004년에는 64%, 2025년에는 77%로 원유의 수입의존율이 점차 증가할 수밖에 없는 에너지사용구조를 가지고 있다(Eere, 2006). 미국경제가 석유제품과 원유수입과 밀접한 관계에 있으므로 아무리 작은 원유가격의 상승이나 공급혼란이라도 미국경제에 미치는 영향은 막대하기 때문에 자국의 환경적 이익과 경제 성장을 위해 국가적 에너지안보의 필요성은 다른 어느 국가에 비해 크다고 할 수 있다. 한편 2005년 미국이 생산한 총 에너지생산은 약 69.3 Quadrillion Btu이고, 이 중에서 79%는 석탄, 천연가스, 원유와 같은 화석연료, 12%

는 핵연료, 9%는 수력, 바이오매스, 지열, 태양열, 풍력과 같은 재생산성 연료로 공급했다. 바이오매스 연료는 재생산성 연료 중 약 48%, 전체 에너지생산의 4%를 차지하고 있다(EIA, 2006). 그러나 실제로 바이오매스는 대부분이 펄프제지공장에서 블랙 리퀴를 소비하는 것이어서 실제로 미국에서 실질적 바이오매스에너지생산은 매우 미미했다고 할 수 있겠다. 이 같은 상황에서 최근 미국 내에서의 연료용 바이오에탄올 생산의 급증은 주목할 만하다(Fig. 1). 미국 전역에 분포된 연료용 에탄올 생산시설은 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 2004년 현재 20개주에 81개 공장을 나타내는데 이는 2003년 대비 21% 증가한 시설이고 2000년 대비 109% 증가한 규모이다. 더욱이 2004년 말에 총 43억 갤런의 에탄올이 생산될 규모의 16개 공장 신설과 2개 공장 확장공사가 진행되어 증가되는 수요에 대비하고 있다는 것을 알 수 있다(RFA, 2006).

덧붙여서 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 전 세계 에탄올 사용추세로 보더라도 연료용이 전체의 68%로 음료용 및 공업용의 수요를 훨씬 넘고 있으며 2010년에는 연료용이 80%에 이를 것이라는 예측을 보더라도 미국의 바이오에탄올 증가추세는 세계적인 에탄올사용의 전인적 역할을 할 것으로 예측된다(Licht, 2003).

2.2. 바이오에탄올 수요와 정책

미국의 에탄올 수요는 2002년에 약 80억 리터, 2003년 106억 리터, 2004년 135억 리터로 급속한 증가추세에 있다(USDE, 2006). 미국의 에탄올 수요규모는 수송용 에너지로 사용하는 화석연료 소비량에 비교하면 적은 량이지만 앞으로 연료용 에탄올 수요는 점차 증가할 것으로 전망되고 있다. 청정공기법령(Clean Air Act)에서 산소강화제 첨가로 재조합된 휘발유(RFG, Reformulated gasoline)사용과 동절기에는 반드시 산소가 첨가된 연료사용을 요구하는 연방청정연료(Federal Clean Fuel) 프로그램이 에탄올수요를 증가하게 한 주요 이유였다. 캘리포니아, 뉴욕 주 및 커네티컷 주에서 옥탄강화제로의

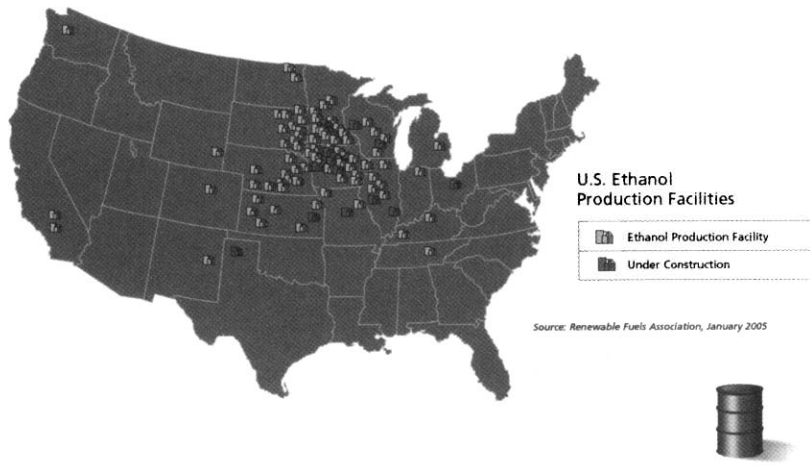


Fig. 2. Distribution of U.S. Ethanol Production Facilities.

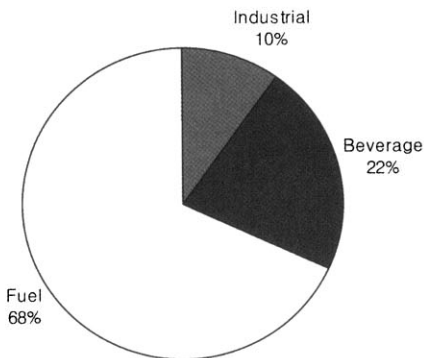


Fig. 3. Use of Ethanol, 2003 (source: Licht, 2003).

MTBE (Methyl Tertiary Butyl Ether)의 사용을 전면 금지하고 대신 에탄올을 사용하도록 하는 정책이 실행되고 있고 앞으로는 연방정부차원에서 MTBE 사용금지가능성이 높기 때문에 에탄올 수요는 더욱 증가할 것으로 예상된다.

더욱이 일산화탄소의 대기환경기준을 초과하는 지역(덴버, 로스앤젤레스, 휘닉스 등)에서는 겨울에 온도가 상승하는 일산화탄소의 대책으로 동절기 휘발유에 산소강화제 사용을 의무화 하였고, 하와이와 미네소타주에서는 휘발유에 반드시 에탄올을 첨가하는 법령이 채택되었는데 아이다호, 아이오와, 미

주리, 몬태나, 오레곤 및 위스콘신주 등이 이 같은 정책에 합류를 고려하고 있는 것으로 알려져 있다 (RFA, 2006). 사실상 이 같은 정책변화로 인해 에탄올첨가 RFG (Reformulated Gasoline)가 기존의 휘발유(첨가물이 없이 단독으로 사용되는) 다음으로 많이 사용되는 상황으로 변화하게 되었다. Table 1에 제시한 바와 같이 미국에서 연료용 에탄올시장은 2004년 RFG용으로 55%, 휘발유 첨가용으로 29%, 연방 동계 옥탄강화제로 8%, 미네소타주정부 에탄올 프로그램에 8%로 이용되는 것으로 보고되었다.

그리고 새롭게 제정되는 American Jobs Creation Act는 미국의 가까운 장래에 새로운 에탄올 수요증가를 가져올 다양한 내용을 포함하고 있다. 그 법령에 포함된 VEETC (Volumetric Ethanol Excise Tax Credit)는 E85 (휘발유에 바이오에탄올을 15% 혼합), 디젤 및 자동차의 연료장치산업과 같이 성장중에 있는 시장의 활성화를 촉진하고, 에탄올 혼합이나 바이오디젤로 전환되면서 요구되는 인프라시설비로 연간 약 30억불이상 투자가 기대되고 있다. 또한 VEETC는 에탄올 세금인센티브를 2010년 12월 31일 까지 \$0.51/gallon로 늘리며 새로운 바이오디젤 세금 인센티브를 신설하여 소규모 에탄올 산업체가 원료를 공급하는 농가와 함께 발전해 나갈 수 있는 기반을 준비하고 있어 향후 몇 년 안에 바이오에

Table 1. 2004 ethanol use by market

Market	million liters
Federal Reformulated Gasoline (RFG)	7,390.5 (55%)
Conventional Gasoline	3,979.5 (39%)
Federal winter Oxygenated Fuels	1,099.1 (9%)
Minnesota Ethanol Program	1,061.2 (8%)
Total Use	13,530.3 (100%)

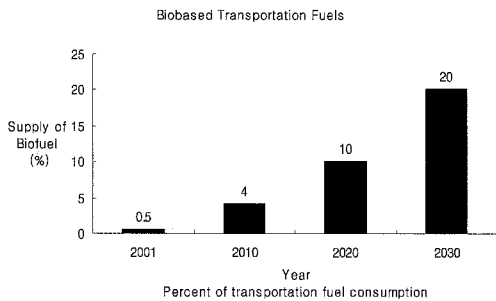


Fig. 4. Biofuel Supply Goals established by the Biomass Research & Development Technical Advisory Committee (Source: BTAC, 2002).

탄올에 대한 큰 수요가 예측되는 상황이다(RFA, 2006).

한편 미국에너지성(DOE)이 석유에 의존하고 있는 수송용 연료의 대체연료로서 목질계 바이오 에탄올에 주목하고 그 목적을 달성하기위하여 지난 20년간 다양한 생산기술 개발 과 경제성 분석 등 많은 노력을 기울여 왔다. 그 결과 중의 하나로 「바이오매스 연구개발 2000」 법령이 만들어지면서 바이오매스 연구 기술 자문위원회(Biomass Research & Development Technical Advisory Committee)를 발족하고 바이오매스 공급 비전 목표를 Fig. 4와 같이 설정하였다. 목표에 따르면 2001년 전체 수송에너지 소비의 0.5%에 불과한 바이오수송연료를 2010년에는 4%, 2020년에는 10%, 2030년에는 20%까지 대체 하겠다는 계획이다(BATC, 2002).

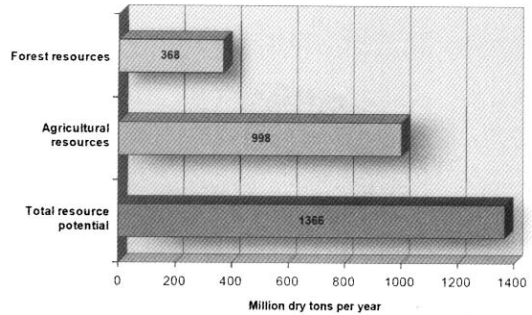


Fig. 5. Annual biomass resource potential from forest and agricultural resource (Source: USDE & USDA, 2005).

3. 바이오연료 생산에 사용되는 원료(feedstocks)와 이용 가능성

현재 미국에서 생산되는 바이오에탄올의 원료는 90% 이상이 옥수수가 차지하고 그 다음이 사탕수수, 소맥 및 식품폐기물 등이 이용된다(Eere, 2005) 실제로 목질바이오매스로부터 에탄올은 원료가격, 제조기술·비용면에서 옥수수보다 열세한 위치에 있다. 그러나 실제로 자연계에 존재하는 공급 가능한 바이오매스자원은 목질계가 많아 가까운 미래에 이들 자원의 적극적 이용이 매우 시급할 것으로 예측되고 있다. 세계에서 에너지소비가 가장 많은 미국에서 앞으로 바이오연료로 사용될 원료와 그 공급 가능성에 대해 조사하였다.

미국에너지성과 농림성에서 분석한 바이오매스 사용 가능량을 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5에서 보는 바와 같이 미국에서 1년에 에너지용으로 사용가능한 바이오매스는 약 13.66억 dry tons로 현재 소비되는 수송용 에너지의 1/3을 대체가능한 량이다. 이 중에서 농지로부터 73% (9억 9800만 dry tons)가 공급가능하고 산림바이오매스로부터 전체의 27% (약 3억 6800만 dry tons)가 공급 가능한 것으로 보고하고 있다(U.S. of Energy & U.S. Department of Agriculture, 2005). 산림바이오매스와 농업기반 바이오매스 공급가능성을 자세히 살펴보면 다음과 같다.

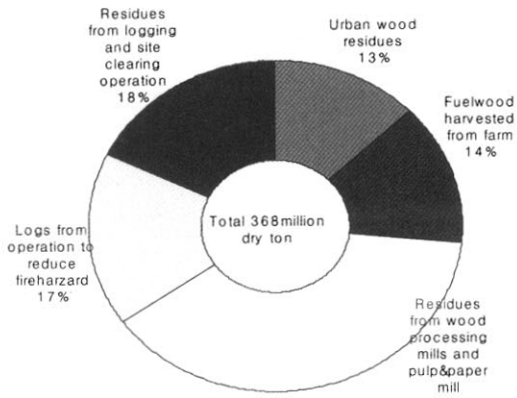


Fig. 6. Potentially available Forest Resource (Source: USDE & USDA, 2005).

3.1. 산림 바이오매스의 공급가능성

Fig. 6에 나타난 바와 같이 공급 가능한 산림바이오매스(3억 6800만 dry tons)는 목재가공공장 및 펄프제지공장에서 발생하는 폐기물이 약 39%, 산업용 재생산을 위한 벌채작업과 산불방지를 위한 벌채작업에서 얻어지는 잔유물이 각각 18%와 17%, 연료용 생산원목과 도시에서 수거되는 도시목재폐기물이 각각 14%와 13%로 구성되어 있다. 이 공급 가능량에는 접근 가능한 임도가 없거나 환경적으로 민감한 산림, 또한 장비 수거에 제한을 받는 위치에서의 생산량은 제외된 것이다. 미국에서 공급 가능한 산림바이오매스 3억 6800만 dry tons에는 현재 연료나 전기 생산에 이용되는 3500만 dry tons이 포함되어 있다.

실제적으로 이들 산림바이오매스를 에너지생산에 이용하는데 대두되는 몇 가지 이슈를 다음과 같이 보고하고 있다(U.S. of Energy & U.S. Department of Agriculture, 2005).

- 1) 생산대상산림의 지형(경사도등), 접근성, 벌채의 환경영향성(대중에 대한 민감도) 등의 요인들이 바이오에너지용 자원생산을 억제할 수 있다.
- 2) 연료용으로 이용될 대부분의 소경목 생산 비용을 부가가치가 높은 대경목 생산으로 일부 충당해야

하는데 이 경우 대중적 반감을 갖게 될 우려가 있다.

3) 미국에서 산림으로부터의 수송비용이 보통 \$0.2~0.3/dry ton-mile 정도인데 지역목재 시장에 비교하여 경쟁력이 없는 경우 바이오에너지용도로의 공급이 어렵다.

4) 소경목 생산 및 반출에 적절한 보다 효율적인 설비 및 기술개발(삼림공학측면에서)이 필요하다

5) 에너지용 산림 경영 프로그램(사유림 조림 및 육림 등)에 연방정부의 재정지원이 필요하다.

6) 도시에서 발생하는 목재폐기물 수거에 대한 인센티브가 높을 때 재활용이 높아지고 에너지시장에 공급가능성이 커진다.

이상과 같은 이슈는 산림바이오매스를 에너지용으로 공급하는데 있어 매우 민감한 사항들로 국내 산림 바이오매스공급에서도 고려해야 할 것으로 시사되었다.

3.2. 농업에서 얻어지는 바이오매스

미국에너지성과 농무성이 농업에서 공급 가능한 에너지용 원료에 대해서는 농작물 특성상 생산에 영향을 미치는 변수가 많아 몇 가지 가상 시나리오를 설정하고 예측한 내용은 다음과 같다.

1) 현재의 농지면적과 농업기술 기반에서 공급가능성(시나리오 1)

현재의 농지와 경작기술을 기반으로 했을 때 에너지용 바이오매스의 공급가능성을 Fig. 7에 나타내었다. 이 경우에는 연간 총 1억 9400만 dry ton의 농업바이오매스가 공급가능하며, corn stover, 퇴비, 수확 잔유물, 볏짚, 곡물 등이 주원료이며 이 중에서 corn stover가 7500만 dry ton으로 공급가능성이 가장 높고, 퇴비 및 기타 농업 폐기물 순으로 나타났다. 공급 가능한 총량 중 목질계 바이오매스는 corn stover, 볏짚 등 곡물채취 후 작물 폐기물을 포함하여 전체의 74%에 이른다.

2) 기존작물에 BT등 경작기술 적용 시 공급가능성(시나리오 2)

농지사용과 작물의 종류에 변화가 없이 경작기술만 변화한다고 가정했을 때 종류별 공급가능성은

미국 에너지 시장에 공급되는 바이오에너지에 관한 연구(III)

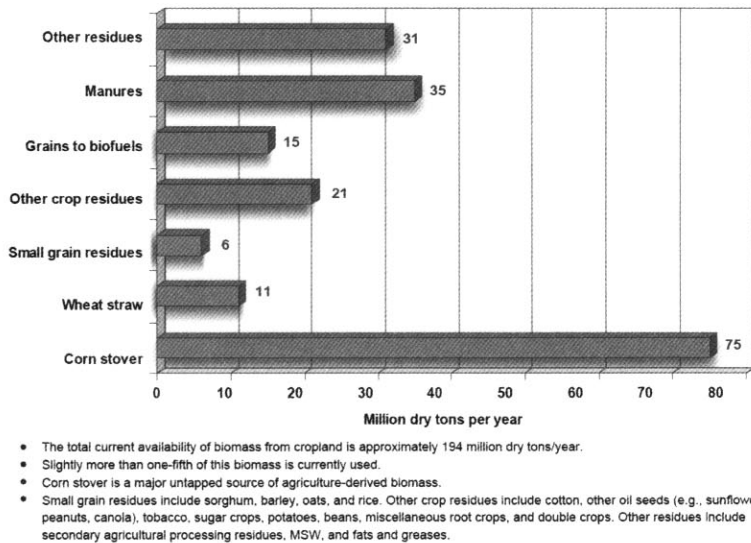


Fig. 7. Current availability of biomass from agricultural lands (Source: USDE & USDA, 2005).

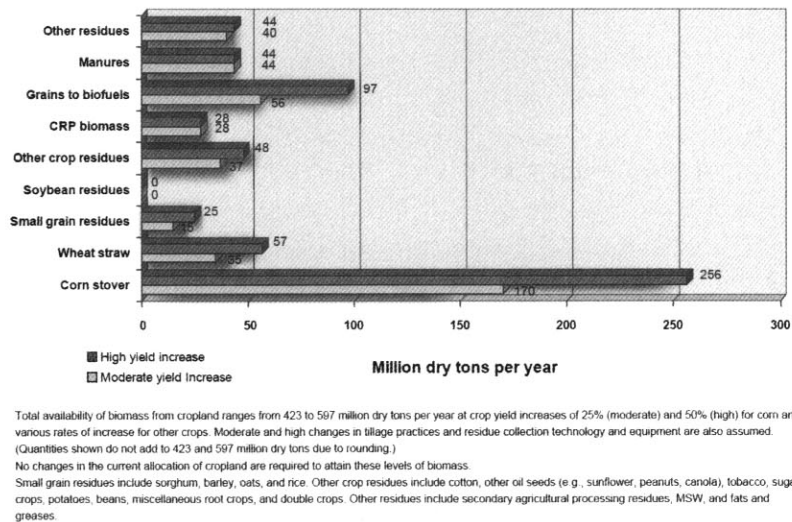


Fig. 8. Availability of biomass under increased crop yields and technology changes (Source: USDE & USDA, 2005).

Fig. 8에 나타난 바와 같이 고 수율을 가정하면 총 5억 9700만 dry ton으로 전술한 현재 농업상황의 3 배에 해당하는 바이오매스가 공급 가능함을 보고하였다. 종류별로 보면 역시 corn stover가 2억 5600만 dry ton으로 가장 많으며 바이오연료용 곡물이 다음

으로 많았다. 목질계 바이오매스는 corn stover, 볏짚 등 곡물채취 후 작물 폐기물을 포함하여 전체의 77%에 이른다.

3) BT를 이용한 작물개발 및 경작기술 개선, 농지 사용 변화 시 공급가능성(시나리오 3)

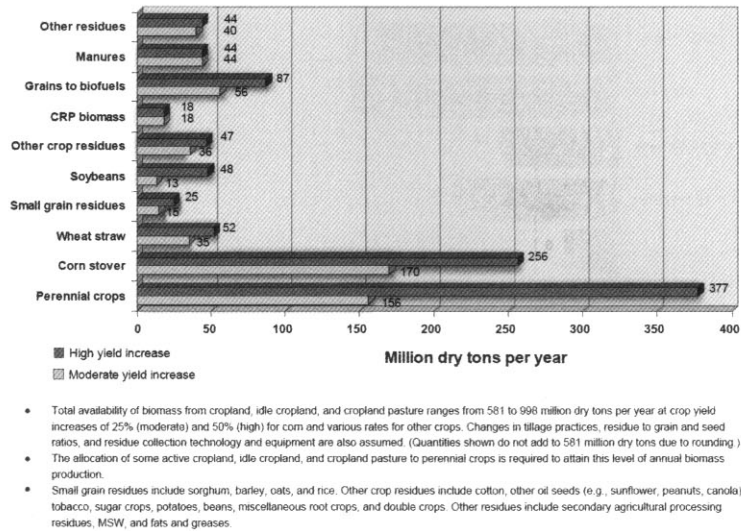


Fig. 9. Availability of biomass under increased crop yields, technology changes and inclusion of perennial crops (Source: USDE & USDA, 2005).

유전공학 등의 최신 생명공학기술을 이용한 작물 품종개발 및 경작기술 개발, 농지사용 변화를 기반으로 공급가능성을 예측한 결과는 Fig. 9와 같다. Fig. 9에 제시된 바와 같이 고 수율을 가정하면 연간 총 9억 9800만 dry ton으로 전환할 현재 농업상황에서 생산되는 량의 5배에 해당하는 바이오매스가 공급될 수 있음을 나타내었다. 종류별로 보면 생명공학기술에 의한 작물발굴과 고 수확으로 년 중 지속적으로 생산 가능한 수목(hybrid tree)이나 목초가 3억 7700만 dry ton으로 가장 많았고 corn stover 및 볏짚과 곡물채취 후 잔유물을 포함하여 목질계 바이오매스가 전체의 82%를 나타냈다.

앞으로 유전공학 등의 생명공학기술을 이용한 농산물이 식품이외에 에너지용으로 이용가능성이 높아지고 그로 인한 농민의 또 다른 소득원천이 될 가능성이 큰 것으로 기대되고 있음이 시사되었다.

농업생산성과 에너지 투입 대비 생산에 대한 연도별 추세를 Fig. 10에 나타내었다. 지금까지 농업기반의 바이오매스의 경우 경작에 소모되는 input에 너지에 대한 에너지 output이 거의 대등함으로 인해 화석에너지의 대체효과가 있는가하는 논란이 되어

왔는데 Fig. 10에 나타난 바와 같이 점차 output이 커지는 경향을 보이고 있다. 이 같은 추세로 볼 때 농업 기반의 바이오매스의 경우 생명공학기술에 의한 작물의 생산성 제고 등으로 앞으로 점차 대체에너지 원료로 공급가능성이 높아질 것으로 전망할 수 있다(Zerbe, 2006, USDA-NASS, 2003).

3.3. 목질계 바이오매스원료의 공급가능성

3.1과 3.2에서 조사된 바와 같이 생명공학기술과 함께 농업 기반의 원료 공급가능성은 커지는데 그 중에서 목질계 바이오매스와 비 목질계 원료를 분류하여 요약한 결과를 Fig. 11에 나타내었다. Fig. 11에서와 같이 목질계 바이오매스는 산림바이오매스 뿐만 아니라 농업 기반 바이오매스에서 전체의 74~82%를 차지하고 있어 앞으로 목질계 바이오매스의 연료화 기술 확보의 필요성이 큰 것으로 시사되었다.

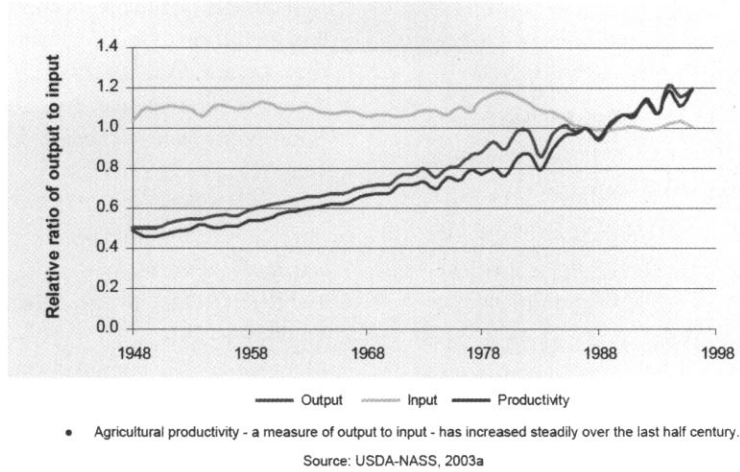


Fig. 10. Agricultural productivity, 1948-1996 (Source: USDE & USDA, 2005).

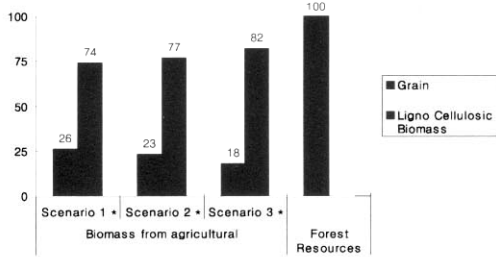


Fig. 11. Proportion of available biomass (* : refer to 3.2 of this paper).

4. 결 론

미국에서 최근 급증한 수송용 바이오에탄올 생산과 앞으로의 수요 동향을 살피고, 이들 연료생산에 사용할 수 있는 바이오매스 원료공급 가능성에 대해 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 2005년 미국이 생산한 총 에너지생산은 약 69.3 Quadrillion Btu이었는데 바이오매스연료는 전체 에너지생산의 4%, 재생산성 연료 중 약 48%를 차지했다.

2) 미국 국가에너지정책의 1차 목표는 수입원유에 대한 의존을 줄이고 다양한 국내자원으로 에너지 생산을 증가시키는 것으로 2030년에는 현재 수송용

에너지의 20%를 바이오연료로 대체할 목표이다. 2004년 미국 내 연료용 바이오에탄올 생산은 급증하여 2001년 대비 100% 증가한 총 129억 리터를 생산했다.

3) 미국 청정공기법령(Clean Air Act)에서 산소화제 첨가로 재조합된 휘발유(RFG, Reformulated gasoline)사용과 동절기 산소첨가 연료사용의 의무를 요구하는 연방청정연료(Federal Clean Fuel) 프로그램을 실시하여 에탄올수요를 증가시키고 있다. 여러 주정부에서 옥탄강화제로의 MTBE를 전면 금지하고 에탄올을 사용토록 하는 정책이 실행되고 연방정부차원에서도 MTBE사용금지가능성이 높아 에탄올 수요는 더욱 증가할 것으로 예상되었다. American Jobs Creation Act에서 VEETC는 자동차의 연료장치를 혼합에탄올(E85)이나 바이오디젤에 적합하도록 전환에 요구되는 비용투자과 에탄올 세금인센티브를 \$0.51/gallon로 늘리는 등 바이오에탄올에 대한 적극적 사용의 기반이 되고 있다.

4) 미국에서 연간 생산 가능한 에너지용 바이오매스는 현재 수송용 에너지소비량의 1/3을 대체가능한 약 13.66억 dry tons이다. 이 중에서 농지로부터 73%, 산림바이오매스로부터 27% 공급 가능한 것으로 조사되었다. 산림바이오매스는 목재가공장과 펄프제지공장에서 발생하는 폐기물이 약 39%로 가

장 많았고, 벌채작업 잔유물, 연료용 생산원목과 도시 목재폐기물 등이 공급 가능한 것으로 보고되었다.

농업에서 에너지용 원료는 현재의 BT기술을 이용한 작물품종개발 및 경작기술 개발, 농지사용 변화를 기반으로 했을 때 년 간 총 9억9800만dry ton으로 현재의 농업상황에서 생산되는 량의 5배에 해당하는 바이오매스가 공급될 수 있음이 보고되었다.

5) 목질계 바이오매스는 산림바이오매스는 물론 농업 기반 바이오매스에서 공급 가능량의 74~82%를 차지하고 있어 미국에너지 안보에 목질계 바이오매스를 이용한 에너지화 기술 확보의 시급함이 시사되었다.

참 고 문 헌

1. BTAC (Biomass Technical Advisory Committee). 2002. vision for Bioenergy and Biobased Products in the United States, http://www.bioproducts-bioenergy.gov/pdfs/Biovision_03_Web.pdf
2. DOE (U. S. Department of Energy). 2003. Roadmap for Agriculture Biomass Feedstock Supply in the United States. DOE/NE-ID-11129. U. S. Department of Energy. November.
3. Energy Information Administration/Monthly Energy Review October 2006.
4. Genecor International, Inc. 2003. (NRDL)/DOE Subcontract with Genecor for "Cellulose cost reduction for bioethanol".
5. <http://www.Eere.org>
6. <http://www.ethanolRFA.org>
7. <http://www.kemco.or.kr>
8. Licht, F. O. 2003. World Ethanol Markets the Outlook to 2012
9. RFA (Renewable Fuels Association). 2005. Home-grown for the Homeland, Ethanol Industry Outlook 2005.
10. U. S. Department of Energy and U. S. Department of Agriculture. 2005. Biomass as Feedstock for a Bioenergy and Bioproducts Industry: The Technical Feasibility of a Billion-Ton Annual Supply
11. Zerbe, John I. 2006. Thermal Energy, Electricity, and Transportation Fuels from Wood, Forest Products Journal Vol.56(1), 6-14
12. 에너지관리공단, 신재생에너지센터. 2006. 제18회 신재생에너지 워크샵(석탄, 해양, 소수력, 바이오),
13. 산림청. 2005. 산림바이오매스를 활용한 대체에너지 이용연구.