

신 재생에너지로서 바이오매스에 대한 현황 고찰

이진휘[†] · 김재곤* · 임의순* · 정충섭* · 임화준

[†]서울과학기술대학교 화공생명공학과

*한국석유관리원 석유기술연구소

(2012년 12월 11일 접수 ; 2012년 12월 20일 수정 ; 2012년 12월 22일 채택)

Overview of the Biomass as a Renewable Energy

Jin-Hui Lee[†] · Jae-kon Kim* · Eui-Soon Yim* · Choong-Sub Chung* · Hwa-Jun Rheem

[†]Department of Chemical Engineering, Seoul National University of Science and Technology,
Seoul, 139-743, Korea

*Petroleum Technology R&D Center, Korea Institute of Petroleum Management,
Chungcheongbuk-do, 363-883, Korea

(Received December 11, 2012 ; Revised December 20, 2012 ; Accepted December 22, 2012)

요약 : 본 연구는 바이오매스에 기인한 에너지와 관련하여, 첨부된 문헌에 의하여 작성되었으며, 바이오에탄올, 바이오디젤 및 바이오가스에 대하여 본 논문을 작성하게 된 배경, 제조공정, 각국의 생산량, 시장현황, 규격 및 정책을 다루었다. 이 논문은 바이오 에너지와 관련하여 전반적인 지식과 장차 바람직한 방향을 모색하는 데에 도움을 줄 것이다. 바이오에너지는 신재생에너지로서 유용한 에너지이며, 다각도로 활용 방안을 모색하여야 한다. 결론에 현재의 상황을 고려하여 몇가지 방향을 제시하였다.

주제어 : 바이오메스, 바이오에탄올, 바이오디젤, 바이오가스, 규격.

Abstract : This study is written by the methods of investigation of references be attached, and includes the background introduced, manufacturing processes, original properties, standards, amounts produced, market situation, ways of applied currently, and policies as a fuel manufactured by biomass on individual countries through the scope of worldwide, especially focused on bioethanol, biodiesel and biogas. It is prepared over multiple angles for the references, who want to getting information and searching desired ways in the future regarding to bioenergy. It is concluded that bioenergy is one of the useful renewable energy, and must to take a step forward by the approaching of multiple points, and finally showed some directions by the way of comparing of the situations and references nowadays.

Keywords : biomass, bioethanol, biodiesel, biogas, standard.

[†]주저자 (E-mail : jinhui@snut.ac.kr)

1. 서론

화석연료 에너지원에 의존한 20세기 인류문명은 새천년에 들어와서 이 화석연료의 고갈이 예측되면서 지속 가능한 신재생에너지원의 개발이 인류 생존에 최대 문제로 떠오르고 있다 [1]. 또한, 화석연료의 사용 증가로 인하여 지구는 환경오염과 아울러 지구 온난화 문제를 일으켜 그 대책이 필요한 상황이다[2]. 이러한 이유로 오늘날 에너지 자원에 관한 문제는 단순히 국가적 문제가 아니라 전 세계적 문제가 되고 있다. 이에 세계 여러 나라들은 에너지원의 안정적 확보를 위하여 바이오 연료 보급을 확대하기 위한 정책을 추진 중에 있다[3]. 특히, 바이오매스(Biomass)를 원료로 사용하는 바이오 에너지의 경우 광물에너지가 갖지 못하는 재생성을 가지고 있으므로 원료 고갈 가능성이 낮다. 또한, 바이오 에너지는 광물 에너지와 비교하여 공해물질을 현저하게 적게 배출하여 교토협약에 의한 CO₂ 배출을 규제하고 있는 국제사회에서 ‘탄소 중립’인 에너지로 인정받고 있다[3]. 바이오 매스로부터 생산되는 바이오 연료는 다른 신·재생에너지로는 적용이 불가능한 수송부문에 직접 적용 가능하여 석유 에너지에 대한 직접 대체 효과가 높다는 장점이 있다. 바

이오 에너지의 활용방법으로는 바이오매스를 이용한 전기 생산, 열, 화학제품 및 차량용 고체연료 등이 있으며, 액체 상태로 변환시킨 바이오 에너지로는 바이오에탄올, 바이오디젤 및 바이오가스 등이 있다. Fig. 1은 바이오매스를 이용한 바이오 에너지의 모식도를 나타내고 있다. 이러한 바이오매스별, 활용현황별 분류로 국내에서는 바이오 에너지를 유기성 폐자원, 수송용 바이오연료, 목질계 바이오 에너지로 분류하고 있다[4].

현재 바이오에탄올[5, 6, 7] 및 바이오디젤[2, 8, 9] 그리고 바이오가스[2, 5, 10]와 기타 바이오 에너지[2, 11, 12]의 생산 공정에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이를 상용화 하여 실제로 사용하기 위하여 바이오 에너지에 대한 품질기준[13, 14, 15, 16]이 정해지고 있으며, 그 생산량과 소비량[17] 또한 점점 증가하고 있는 추세이다. 세계 여러 국가들은 바이오매스의 부족한 생산량을 보완하기 위하여, 또는 외화 획득 수단으로 바이오 에너지를 수입, 수출하고 있으며, 바이오 에너지의 사용을 장려하기 위한 정책[5, 17, 18]을 펼치고 있다.

본 논문에서는 바이오매스 에너지에 해당하는 바이오에탄올, 바이오디젤, 바이오가스 및 기타 바이오 에너지에 대하여 도입배경, 제조공

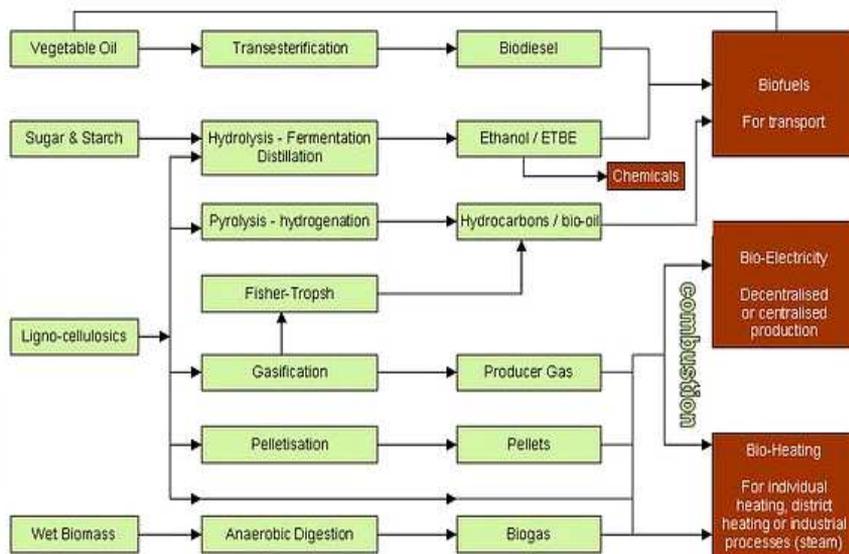


Fig. 1. Varies bioenergies derived from different biomass sources.

정, 각국의 생산량, 품질기준, 현재 적용분야, 각국의 바이오메스 에너지 정책으로 구분하여 서술함으로써 정책방향 제시에 도움이 되도록 하였다.

2. 바이오 에너지 재료

2.1. 바이오에탄올

현재 브라질, 미국 등에서는 자국의 풍부한 바이오메스인 사탕수수 또는 옥수수를 원료로 바이오에탄올을 생산하는 기술을 개발하였다. 즉, 브라질은 사탕수수 기반과 미국은 옥수수 기반 바이오에탄올을 세계 최대 규모로 생산하고 있다. 사탕수수로부터 추출한 사탕액(juice)은 효모에 의하여 직접적으로 에탄올로 전환되며, 이후 에탄올을 농축하여 연료용 알콜(함량 : 99.27%)로 만들어 가솔린과 혼합 또는 에탄올 자체만으로 휘발유 대체 연료로 사용이 가능하다.

전분질계 바이오메스(옥수수, 고구마 등)로부터 바이오에탄올 생산은 녹말을 효모가 발효할 수 있는 당으로 전환하기 위한 증자 단계가 추가되며 이후 과정은 당질계 에탄올 생산법과

같다. Fig. 2와 Fig. 3은 각각 당질계 및 전분질계에 기반을 둔 바이오에탄올 생산공정을 보인 것이다.

현재 상용화된 바이오에탄올 생산 기술은 모두 사람이 식량으로 사용할 수 있는 당질계 또는 전분질계 바이오메스를 원료로 사용하므로 식량을 에너지로 사용하는 도덕적 문제 뿐만 아니라 앞으로 식량 수요가 늘어날 경우 원료 수급에 문제가 발생할 수 있다는 우려가 증가하고 있다[5]. 특히 미국의 경우 옥수수 가격의 급등과 에탄올 가격 정체가 수익성 악화로 이어지며 미국의 대형 에탄올 생산 업체들은 수익성 악화로 폐업 또는 생산 감축에 들어갔다. 또한 이러한 에탄올 생산법이 식량가격 상승의 원인으로 지목받고 있어 UN이 2012년 8월에 미국정부에게 바이오에탄올 의무생산을 중단할 것을 요구하기도 하였다[6].

이러한 문제들을 극복하기 위하여 보다 값싸고 원료 수급에 문제가 적은 셀룰로스계 바이오메스를 원료로 사용하는 기술을 개발하고 있다. 그러나 셀룰로스계 바이오메스는 앞에 언급한 당질계나 전분질계 바이오메스와는 다른 구조를 가지고 있으므로, 분해하기 위해서는 전처리 과정이 필요하다(Fig. 4). 즉 셀룰로스를 분

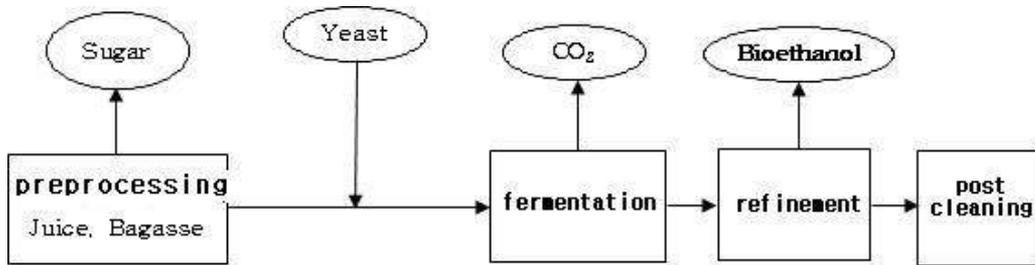


Fig. 2. Process of sugar based bioethanol.

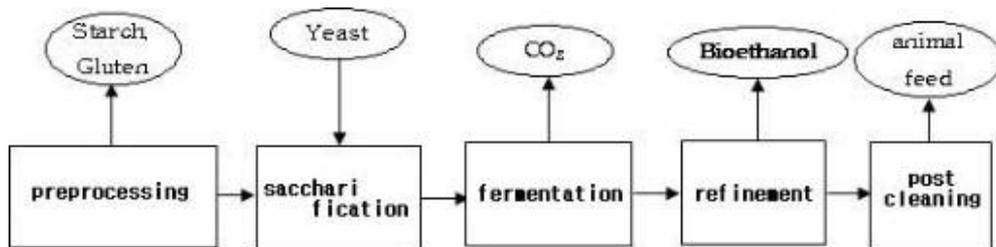


Fig. 3. Process of starch, gluten based bioethanol.

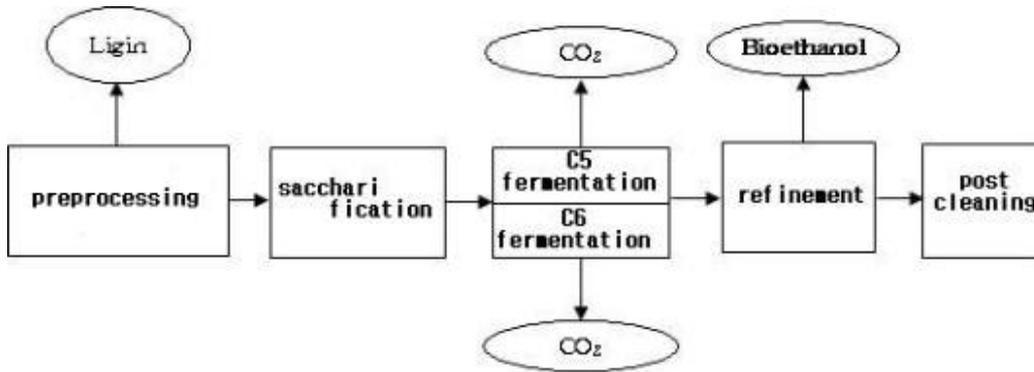


Fig. 4. Process of Ligno Cellulose based bioethanol.

리한 뒤 셀룰라제를 이용하여 셀룰로스를 당으로 만들고, 그 당을 효모에 의해 발효시켜 에탄올을 얻어낸다. 이러한 기술은 현재 미국, 스웨덴 등에서 파일럿 공정의 연구 단계이며 아직 상용화는 5년에서 10년이 더 걸릴 것으로 예측하고 있다[5].

한편으로는 셀룰로스를 바이오매스와 마찬가지로 곡물 자원을 사용하지 않는 방법으로 해조류를 이용하여 바이오에탄올을 생산하는 연구가 국내·외에서 진행 중에 있다. 해조류를 이용한 바이오에탄올의 제조 연구는 셀룰로스를 사용하는 방법에서 우려되는 삼림의 훼손 등의 문제가 없으면서도 탄소중립의 효과가 있다는 점에서 더 많은 장점을 갖고 있다[7].

2.2. 바이오디젤

자연에 존재하는 각종 기름(Fat, Lipid)성분을 물리적, 화학적 처리과정(에스테르 공정)을 거쳐 석유계 디젤과 유사한 액체연료로 변환시켜 디젤엔진에 사용할 수 있도록 만든 것을 말한다. 바이오디젤의 원료가 되는 기름은 크게 유채씨, 해바라기씨, 대두 등과 같이 다량의 식물유를 함유하는 종자를 이용하거나 쌀기름과 같이 각종 곡, 식물의 가공처리과정에서 발생하는 부산물 기름, 또는 폐식용유 등을 이용하여 만든다. 미국의 경우에는 건강상의 이유로 저지방 육류를 선호함에 따라 닭고기, 돼지고기 등에서 인위적으로 기름을 제거하게 되며 이때 발생하게 되는 다량의 동물성 유지를 원료로 사용하기도 한다[2]. 미국에서는 대부분의 바이오디젤을 콩기름이나 재활용된 요리용 기름으로 만든다[8].

국내의 경우 바이오디젤의 생산에 주로 폐식용유를 이용하는 기술 개발이 수행되어 파일럿 공정 연구를 완료한 상태이며, 일부 업체에서는 폐식용유를 실제 생산 공정에 원료로 투입하고 있다[9].

이러한 원료들을 이용하여 알칼리 촉매 존재 하에서 에스테르화 반응을 시키고 부산물인 글리세롤을 정제하면 경유와 비슷한 균질상 지방산에스테르(fatty acid methyl ester, FAME) 즉 바이오디젤이 생성된다(Fig. 5)[2].

2.3. 바이오가스

바이오가스는 음식물쓰레기, 하수슬러지 및 매립지 쓰레기 등과 같은 유기성폐기물인 바이오매스를 혐기성 미생물에 의하여 혐기성 소화 반응으로 메탄 발효시킴으로써 얻을 수 있다. 일반적으로 바이오가스의 주성분은 메탄(45~70%)과 이산화탄소(30~45%)이며, 황화수소(H₂S)를 비롯한 암모니아(NH₃), 수소(H₂), 질소(N₂), 그리고 일산화탄소(CO) 등 미량가스를 포함한다. 바이오가스(raw biogas)는 일반적으로 보일러 열원 혹은 열병합발전(CHP)을 통한 열과 전력을 생산하는데 이용하여 왔다. 그러나 바이오가스의 열량을 증가 시키고, 이용의 안정성을 높이기 위해서는 CO₂, H₂S, 실록산(siloxanes)을 비롯한 기타 불순물을 제거해야 한다[17]. 흔히 고질화 전 바이오가스에 포함되어 기기의 부식을 유발하는 수분, 황화수소(H₂S) 및 할로젠화합물을 제거하는 것을 정제 공정이라고 한다. 연료로써 사용하기 위한 천연가스 수준의 열량을 확보하기 위하여 CO₂를 분리하여, 메탄농도를 최소 95~97 vol.% 이상으

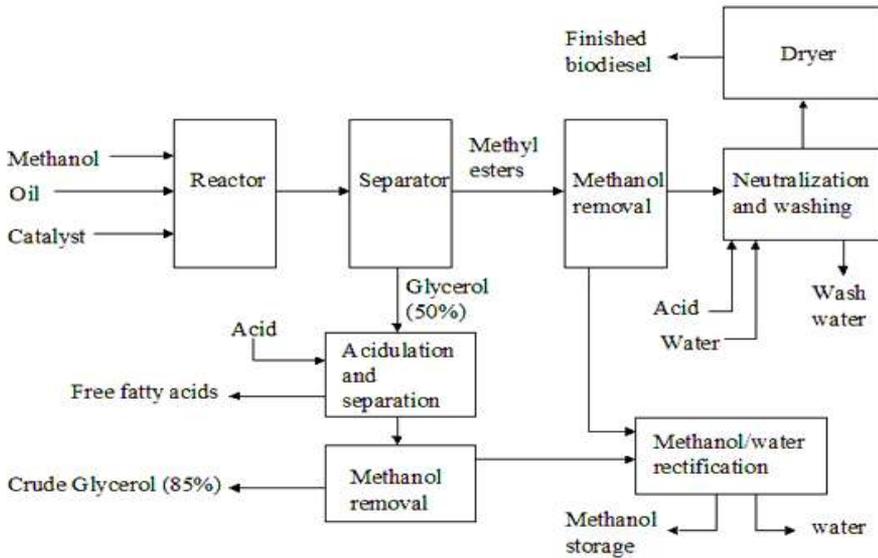


Fig. 5. Biodiesel(FAME) production process from raw material and chemicals.

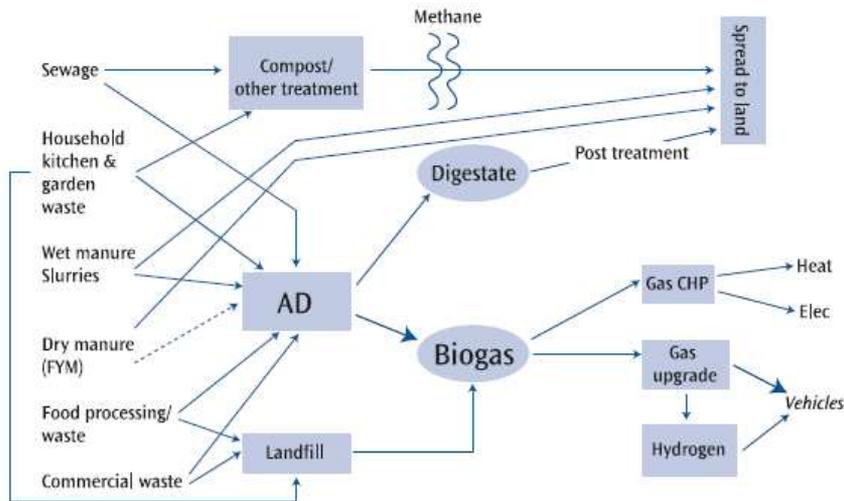


Fig. 6. Biogas production process from organic wastes.

로 함량을 높이는 고질화(upgrading) 공정이 필요하다(Fig. 6). 매립지의 가스(landfill gas)를 활용하는 것은 여러 선진국에서는 이미 오래전부터 실용화되었고, 최근에는 메탄가스의 온실 효과가 알려지고 경제성이 인정되면서 우리나라에서도 개발이 급속도로 추진되고 있다[2].

이러한 가스화 기술은 바이오매스가 고체이기 때문에 취급이 불편하고, 수분을 포함하기 때문에 직접 연소를 하는 경우에는 발열량의 일부가 수분 증발에 사용되는 문제를 해결하기 위하여 출발하였다. 바이오매스에 열을 가하여 분해, 저분자화하여 가연성 가스로서 이 가스를

연소 이용하거나 액체연료를 합성하는 원료로서 이용하기도 한다.

산소가 부족한 환경에서 바이오매스를 가열하면 열분해가 일어나 가연성 가스, 타르, 숯이 생성된다. 수증기 및 산소의 첨가량을 제어하거나 급속 가열과 같은 조건 등을 설정하여 주면서 가스 생산량을 크게 하면, 바이오매스에서 가연성 가스를 뽑아낼 수 있는데 여기에 주로 사용되는 원료는 목질계 및 초목계 바이오매스와 같은 건조한 바이오매스를 이용한다. 이 방법을 통하여 얻은 가연성 가스에는 조건에 따라 다르지만 주로 수소, 메탄, 일산화탄소, 이산화탄소가 포함된다. 공기를 이용한 부분산화의 경우에는 질소가 많이 포함되는 희석효과로 인하여 발열량이 낮은 가스가 생성되기도 한다[10].

우리나라에는 음식물 쓰레기가 사료 혹은 퇴비화에 일부 사용되고 있지만, 그 수요처는 제한적이어서 감량화 기술이 필요하다. 음식물 쓰레기의 감량화에는 소각 또는 메탄 전환이 효과적인데 국내 음식물 쓰레기의 경우 약90%가 수분으로 이루어져 있어서 소각 기술에는 어려움이 많으므로 메탄전환 기술이 적합하다. 현재 국내 기술진에 의하여 우리 실정에 맞는 음식물 쓰레기로부터의 메탄 생산 기술이 개발되었으며, 상용화 공장이 파주에 설치되어 가동중이지만 아직은 시설 설치비가 높아 보급 확산이 부진한 단점이 있다[5].

2.4. 기타 바이오에너지

바이오수소 생산기술은 다양하며, 기질로 사용되는 원료물질에 따라 물, 유기물, 가스로 크게 구분되고 미생물의 다양한 메커니즘에 따라 여러 가지 기술이 알려져 있으며 자연계의 수소 발생 미생물은 여러 종이 존재한다. 수중 미생물인 green algae가 태양광을 에너지원으로 이용하고 물로부터 양성자와 전자를 획득해 수소를 생산하는 효소에 의한 물 분해 수소 생산 연구가 진행되고 있다. 그리고 질소 고정능력이 있는 cyanobacteria가 광합성 중에 세포의 일부 분인 vegetative cell에서 물을 분해하여 산소를 발생시키고 이산화탄소를 고정, 세포의 다른 부분인 heterocyst에서 이산화탄소와 수소를 생산하는 2단계 수소생산연구가 있다. 마지막으로 유기성 폐자원이 풍부한 일본 등에서 연구되는 기술로 유기물로부터 광합성 세균(특히 purple

non-sulfur bacteria)에 의한 수소생산 또는 빛이 존재하지 않는 조건에서의 혐기 미생물에 의한 유기물의 발효에 의한 수소 생산연구들이 수행중이다[2]. 연료전지 및 기타 연구 등으로 인하여 수소의 필요성이 증대된 만큼 지속적인 연구를 통해 경쟁력을 갖추나갈 수 있을 것으로 예상된다.

바이오부탄올의 경우는 자동차 연료의 첨가제로 이미 상용화된 바이오에탄올을 증가하는 친환경 차세대 에너지이다. 휘발유와 비교할 때, 공기연료비를 비롯한, 기화열, 옥탄가 등 여러 가지 연료 성능이 유사하여 가솔린 엔진에 사용이 가능하며, 폐목재와 볏짚, 잉여 사탕수수, 해조류 등 비식용 바이오매스에서 추출이 가능하다. 생산 공정은 바이오매스를 기반으로 한 원료를 박테리아를 이용하여 발효시켜 부탄올을 생성해 내거나, 발효 방법을 달리하여 바이오수소와 CO₂를 제거한 뒤, 부탄산으로 만든 후 수소축매를 이용하여 부탄올을 생성하거나 부탄산을 부탄산 에스테르로 변환시켜 수소 축매하에 부탄올을 생성시키는 방법이 있다[11]. 우리나라에서 시스템대사공학 기법을 도입하여 바이오부탄올을 만드는데 사용되는 클로스트리둠 균주를 개량하여 생산수율을 49%에서 87%까지 향상시켰다. 또한 발효 및 분리공정 개발을 위한 연구를 수행하여 흡착물질을 사용한 실시간 바이오부탄올 회수 및 제거 시스템을 개발하였다. 이는 기존 발효공정에 비해 생산성을 3배 이상 향상시킨 것으로, 이를 통해 분리, 정제 비용을 기존 대비 70%까지 절감할 수 있게 되었다[12].

3. 각국의 바이오에탄올, 바이오디젤 및 바이오가스의 품질기준

3.1. 각국의 바이오에탄올 품질기준 비교

Table 1은 각국의 바이오에탄올 품질기준에 대하여 나타낸 표이다. 가장 적은 항목을 검사하는 국가는 미국이며, 가장 많은 항목을 규정하고 있는 국가는 유럽과 캐나다이다.

Table 2는 각국의 바이오디젤에 관한 품질기준에 대하여 나타낸 것이다. 비교를 위하여 공통적으로 필요한 규격만을 보였으며 각 국별로 검사하는 부분은 제외하였다. 단위의 차이는 있지만 비교적 비슷한 규격을 가지고 바이오디젤

Table 1. Comparison of Bioethanol Standards[13]

Items	Brazil (Resolução ANP N° 7, 2011)	China (GB 18350-2001)	EU (EN 15376:2011)	India (IS 15464:2004)	United States (ASTM D 4806-11a, 2011)	Canada (2011)
Ethanol, vol%, min	98	92.1	98.7	99.5	92.1	92
Water, vol%, max	0.4	0.8	0.3	-	1.0	0.8
Density @ 20°C, kg/m ³	~ 791.5	789 - 792	-	~ 796	-	-
Copper, ppm, max	0.07	0.08	0.1	0.1	0.1	0.1
Methanol, vol%, max	1	0.5	1	-	0.5	0.5
Acetic Acid, g/l, 100% EtOH, max	0.03	0.056	0.007	0.03	-	0.056
Non-volatile matter, g/100ml, max		0.005	0.01	0.005	-	-
Sulfur, ppm, max	-	-	10	-	30	40
Phosphorus, g/l, max	-	-	0.00015	-	-	0.0013
Aromatics, vol%, max	-	-	-	-	-	2.5

을 생산하고 있으며, 중국의 규격수가 가장 적으며 프랑스가 다른 나라들에 비해 많은 항목을 가지고 검사한다는 것을 알 수 있다.

3.2. 각국의 바이오디젤 품질기준

Table 3은 각국의 자동차용 바이오가스의 품질기준에 대하여 나타낸 것이다. 세계에서 최초로 수송용 바이오가스 품질기준을 설정하여 운영하고 있는 국가인 스웨덴은, 1999년 자동차 제조업체의 요청에 의해서 자동차연료로 공급,

사용하는 바이오가스 품질기준 (Swedish Standard SS 15 54 38, Motorbranslen)을 설정하여 운영하고 있으며, 아울러 천연가스 배관망에 연계할 수 있는 연료의 품질기준을 규정하고 있다. 바이오가스 Type A 의 경우는 트럭 및 버스와 같은 heavy-duty 차량에서 사용되는 린번엔진에서 산소센서가 장착되지 않은 엔진에 적용되며, Type B는 이론공연비 제어에 사용되는 산소센서가 장착된 승용차량에 적용되는 기준으로서, 최근의 차량에는 램다센서가 대

Table 2. Comparison of Biodiesel Standards[14, 15, 16]

Items	countries	France	jGermany	U.S.A.	China
Density 15°C (kg/m ³)		820 - 900	860 - 900	-	820-900
Viscos. 40°C		3.5-5.0	3.5-5.0	1.9-6.0	1.9-6.0
Flash Point(min°C)		110	110	93	130
CFPP		-	0/-10/-20	-	Report
Sulfur		0.0010	0.0010	0.0500	50
10% dist. resid (max%mass)		0.3	-	-	0.3
CCR 100%(max%mass)			0.05	-	-
Sulfated ash(max%mass)		0.02	0.02	0.020	-
(Oxid)Ash		-	-	-	0.02
Water(maxmg/kg)		500	500	-	500
Total Contam.		0.0024 (max%mass)	24 (maxmg/kg)	-	-
Cu-Corros. 3h/50°C		1	1	-	1
Cetane No.(min)		51	51	47	49
Neutral.No.(maxmgKOH/g)		0.5	0.5	-	-
Methanol(max%mass)		0.2	0.3	-	-
Monoglycides(max%mass)		0.8	0.8	-	-
Diglyceride(max%mass)		0.2	0.2	-	-
Triglyceride(max%mass)		0.2	0.2	-	-
Free glycerol(max%mass)		0.02	0.02	0.020	0.02
Total glycerol(max%mass)		0.25	0.25	0.240	0.24
Iodine No.(max)		120	120	-	-
Phosphor		4 minmg/kg	0.0004 max%wt	0.001 max%wt	-
Alcline met.(Na, K) (minmg/kg)		5	5	5	-

부분 장착되어 생산되고 있다.

4. 국가별 바이오에탄올 및 바이오디젤 생산, 소비 현황

바이오연료는 주로 유럽, 미국, 브라질 등을 중심으로 생산 및 보급이 이루어지고 있으며, 최근에는 상대적으로 보급이 뒤쳐진 아시아 각국

들도 자국이 가진 식물 원료를 기반으로 한 바이오연료의 생산 및 보급을 시작하고 있는 실정이다. 최근까지 바이오연료는 세계 수송용 연료 소비의 대략 1.8%를 차지하고 있으며, 전 세계 바이오연료 생산량 중 에탄올이 대략 80%, 바이오디젤은 20% 차지하고 있다[18].

Fig. 7-11은 2007년에서 2011년 사이의 각국의 바이오에탄올과 바이오디젤의 생산량과 소비량을 나타내었다.

Table 3. Comparison of Biogas Standards[17]

Item	Sweden		Korea (clean air conservation act)
	Type A (truck, buses)	Type B (private cars)	
Wobbe index(MJ/nm ³)	44.7~46.4	43.9~47.3	
Methane content (vol.%) (273K, 101.3kpa)	Min. 97±1	Min. 97±2	Min. 95
Water dew point (t=lowest average daily temp. on a monthly basis)	t-5	t-5	-
water content (mg/nm ³)	Max. 32	Max. 32	Max 32
CO ₂ + O ₂ + N ₂ Content (vol.%)	Max. 4.0	Max. 5.0	
O ₂ Content (vol.%)	Max. 1.0	Max. 1.0	
CO ₂ + N ₂ Content (vol.%)	-	-	Max. 5.0
Total sulfur content (mg/nm ³)	Max. 23	Max. 23	Max. 10
Total nitrogen content with NH ₃ (mg/nm ³)			
Particle size	Max. 1 um	Max. 1 um	

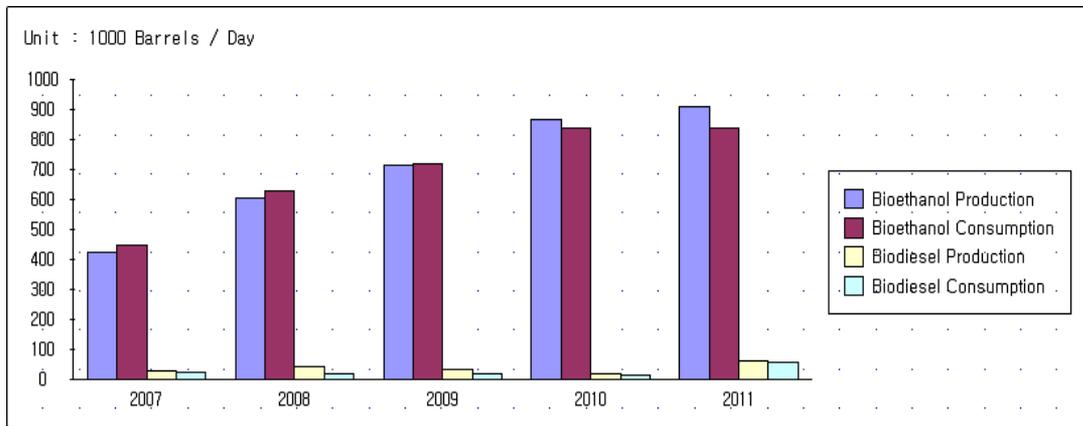


Fig. 7. Amounts of bioethanol and biodiesel production and consumption in U.S.A.

우선 미국의 경우를 보면 바이오에탄올의 생산량이 바이오디젤에 비해 압도적으로 많은 것을 볼 수 있다. 이는 미국에서 생산되는 바이오매스가 바이오디젤 보다는 바이오에탄올의 생산에 적합하기 때문으로 보인다.

브라질 역시 대표적인 바이오에탄올 생산국이다. 바이오디젤에 비해 많은 양을 생산하고 소비하며 이는 바이오에탄올 생산의 원료로 사용되는 옥수수 생산량에 따른 것으로 보인다.

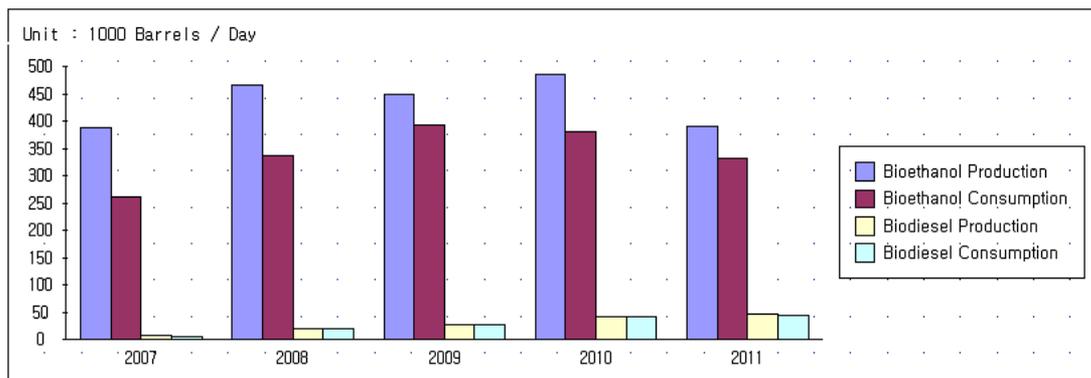


Fig. 8. Amount of bioethanol and biodiesel production and consumption in Brazil.

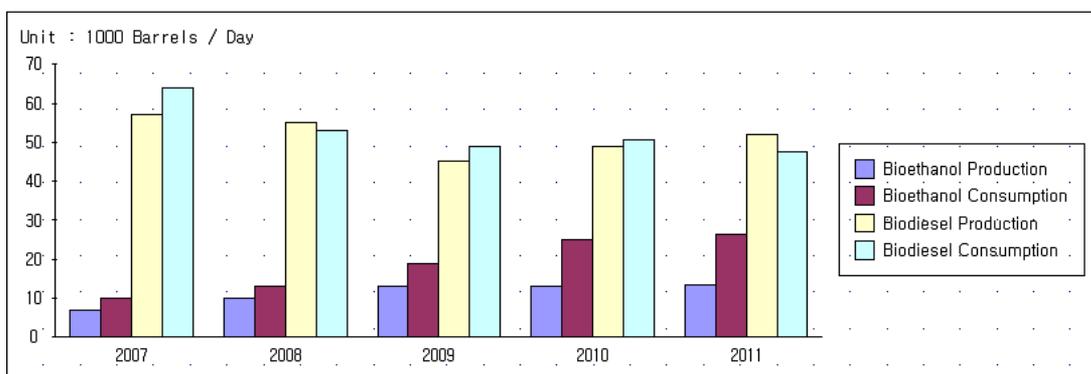


Fig. 9. Amount of bioethanol and biodiesel production and consumption in Germany.

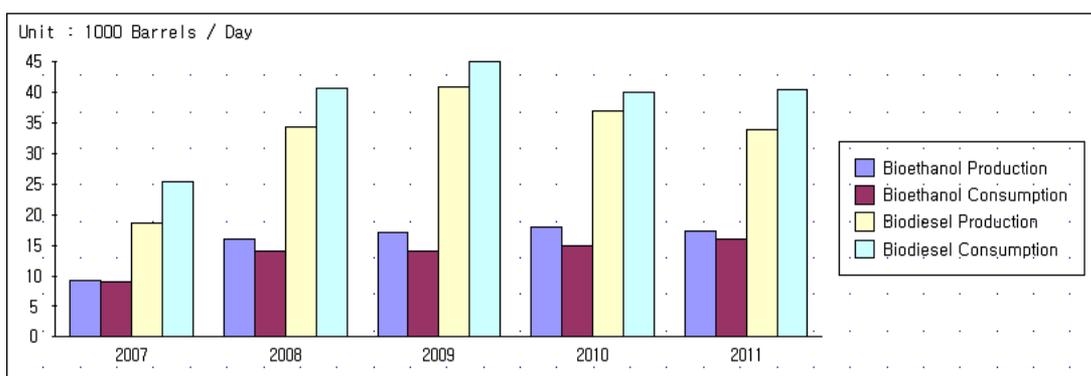


Fig. 10. Amount of bioethanol and biodiesel production and consumption in France.

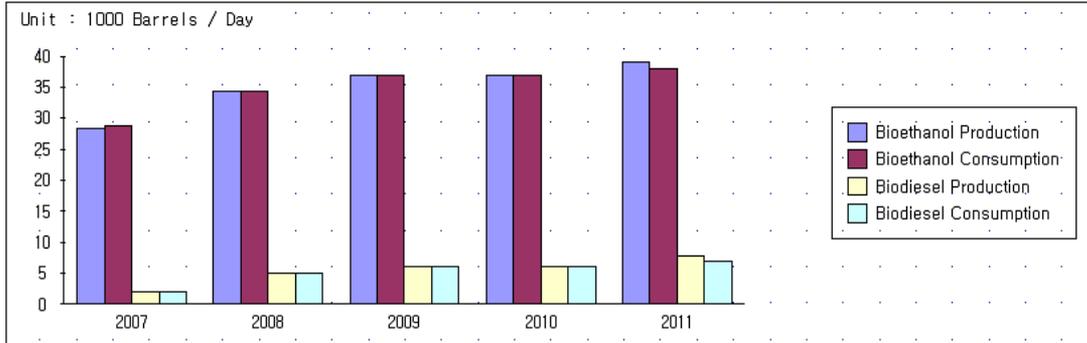


Fig. 11. Amount of bioethanol and biodiesel production and consumption in China.

프랑스의 경우도 독일과 비슷한 이유로 인해 바이오에탄올의 생산량보다 바이오디젤의 생산량이 더 많은 것으로 보인다.

중국은 땅이 넓고 경작지가 많으므로 바이오에탄올 원료 작물을 재배하기 수월해 바이오디젤 보다는 바이오에탄올의 생산량이 더 많은 것으로 보인다.

5. 국외 바이오가스 생산현황

국외의 바이오가스 에너지화는 유럽을 중심으로 기술개발 및 사업화가 진행되고 있다. Fig. 12는 유럽의 바이오가스 생산량을 보인 것이다. 유럽 국가의 바이오가스 발생량 현황을 보면, 2009년에는 약 8,346 kTOE에 바이오가스가 발생하였다. 연도별 바이오가스 발생 현황을 보면, 2007년 바이오가스 발생량이 2006년 대비 47%가 증가하여 꾸준히 증가하는 추세에 있다. 유럽에서는 주로 열병합 발전(CHP)을 통하여 바이오가스를 에너지화 하고 있으며, 2009년 기준으로 총 25,167GWh의 전기를 생산하였다[17].

2000년 이후 신재생에너지 보급비율 목표 달성과 신재생에너지 의무보급과 고유가로 인하여 바이오가스를 고질화하여 수송연료 또는 천연가스 배관망에 연계하여 사용하는 기술의 개발 및 사업화가 진행되고 있다. 2010년까지 총 186개소의 바이오가스 고질화플랜트가 설치되어 운영되고 있다. 국가별 바이오가스 고질화 플랜트 설치 현황을 보면 독일(56개)과 스웨덴(52개)이 가장 많은 고질화 플랜트가 설치되어 운영 중에 있으며, 특히 스웨덴은 바이오가스를 고질화하는 기

술의 핵심기술인 이산화탄소/메탄 분리기술을 보유하고 있는 업체가 다수이며, 스웨덴 이외의 국가로 사업영역을 넓히고 있는 상황에 있다 [17].

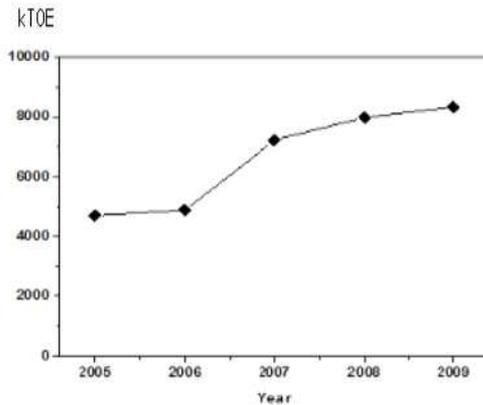


Fig. 12. Production amount of biogas in EU[17].

6. 미국의 바이오에탄올 및 바이오디젤 수출입 현황

Fig. 13는 미국의 바이오에탄올 및 바이오디젤의 수출입량을 나타내었다. 2007년에 비하여 2011년 모두 바이오디젤과 바이오에탄올의 수입량이 줄었으며, 바이오에탄올의 경우 2011년에 수출량이 급증하였다. 그래프에서 미국 내에서 필요한 바이오에탄올 및 바이오디젤의 양은 이미 초과되었으며 바이오디젤은 내수가 가능

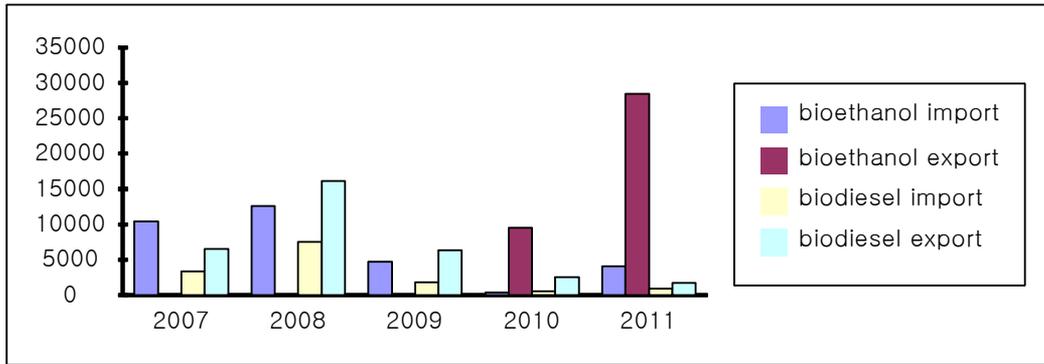


Fig. 13. Amount of bioethanol & biodiesel import and export in U.S.A[19, 20, 21].

한 수준, 그리고 바이오에탄올은 자국의 소비를 넘어 수출까지 가능한 경쟁력을 보유했다고 판단할 수 있다.

7. 각국의 바이오매스 에너지 관련 정책

국제사회는 온실가스 감축을 위한 수단으로 수송부문에서 규제적 정책인 바이오연료 혼합의무제도를 도입하여 바이오연료 사용을 확대하고 위하여 인센티브정책을 도입하고 있다. 그러나, 수송부문에서 바이오연료의 혼합 비중을 획기적으로 확대하기 위해서는 수송용 화석연료 공급

사업자에게 바이오연료를 의무적으로 혼합하는 제도인 바이오연료 의무혼합제도를 도입 중에 있다. 2011년 10월 기준으로 국가차원의 바이오연료 의무혼합 정책을 시행하는 나라는 35개국이며, 일부 도시나 주(state) 차원에서 시행하는 나라는 6개국이다. 또한 10년 이내에 바이오연료의 의무혼합을 계획 중인 나라도 26개국으로 파악되고 있다[19-22].

7.1. 바이오에탄올 관련 정책

Table 4은 각국의 바이오에탄올에 관한 보급을 위한 지원정책에 대해 나타내었다. 국가별로 각 나라의 사정에 맞게 변형되긴 했지만 주로

Table 4. Various Supporting Policies for Bioethanol by Individual Countries[23]

Supporting Methods	Areas	Countries
Obligations	22±2% as Bioethanol	Brazil
	E10 from 2005	China
Tax Exemption	Bioethanol	Brazil
		USA
		France
		Germany
		Japan
Financial Support	Vehicles	Brazil
	Bioethanol industry	USA
	Bioethanol Farmhouse	France
Gas Station	Bioethanol	Germany
		Japan
	E10, E85	Germany
Prohibition	E3	Japan
	MTBE	USA

Table 5. Various Supporting Policies for Biodiesel by Individual Countries[24]

Countries	Policy
France	<ul style="list-style-type: none"> • A partial tax exemption of imported commodities of biodiesel and bio-ETBE in 1992. • Using open bidding system for biofuels. • Permission of bidding for biodiesel using rapeseed and other oil crops in 2006 ~ 2007. • Permission of bidding for biodiesel using animal fat and cellulose synthesis in 2008.
Germany	<ul style="list-style-type: none"> • All tax exemption of alternative fuel such as biodiesel from imposed on gasoline and diesel until 2004. • Introduce of extra ecotax on fossil fuels. • Instead of tax exemption policy, obligation of biofuel policy(imposed low tax).
Spain	<ul style="list-style-type: none"> • Permission of tax exemption for project of low environmental pollution technology. • All tax exemption for every biofuel product plant in 2002.
Sweden	<ul style="list-style-type: none"> • Tax exemption such as carbon tax and energy tax for netural CO2 fuel including biofuel from 2004 until 2009. • Apply of tax relief policy for purchase of environmentally vehicles from 2002 until 2008. • Obligation of all diesel fuel include 5% biodiesel.
U.K.	<ul style="list-style-type: none"> • Introduce of obligation of renewable transportation fuel policy in 2007. • Establish of regulation for suppling biofuel of 2.5% of total sales at oil company. • Apply of tax relief for imported tax of biodisel about 20pence beside of fossi diesell.
U.S.A.	<ul style="list-style-type: none"> • Introduce of Renewable Portfolio Standard(RPS).
Japan	<ul style="list-style-type: none"> • Using BD20 or BD100 in cleaning vehicles or public office. • Test for using E3 for about 20,000 vehicles at Miyako Island. • Produce of disused rapeseed oil-based biodiesel at local governments.

세금 감면이 많았으나, 재정적인 지원의 경우도 있다. 특히 미국과 브라질은 세계 1, 2위 바이오에탄올 생산국 답게 다양한 방법으로 바이오에탄올을 지원하고 있는 것으로 나타났다.

7.2. 바이오디젤 관련 정책

Table 5는 각 국의 바이오디젤에 관한 정책을 나타낸 표이다. 대부분의 나라에서는 화석연료를 대체하여 바이오디젤 연료를 사용해야 한다는 점에 초점을 맞추고 있으며, 바이오에탄올과 마찬가지로 세금을 감면한다든지 하는 방법

으로 지원하고 있다. 특히 일본의 경우, 한국과 같이 화석연료가 부족한 상황에서 폐유체유를 통한 바이오디젤을 성공적으로 정착시킨 주요 사례로 판단된다[28].

7. 결과 및 고찰

바이오연료는 화석에너지의 가채한계량, 자원의 편중, 온실가스의 방출 등의 문제점으로 인하여 세계 각국은 가솔린의 대체연료로서 적극 검토되어, 이미 많은 세계 주요 국가에서 사용되고 있는 중이다. 이미 여러 나라에서 바이오에탄올과 바이오디젤의 상용화에 성공하였으며 우리나라에서도 그에 관한 연구 및 상용화가 주된 관심사로 떠오르고 있다. 이에 각국의 바이오연료의 생산량과 소비량은 점점 증가하고 있으며 그에 따른 지원도 강화할 예정이다.

바이오 에너지는 주로 그 국가의 지역적 특성에 따라 작물 획득이 용이한 국가에서는 바이오에탄올을 주로 생산하고 그렇지 못한 국가에서는 바이오디젤의 생산이 활발한 바, 우리나라에 적합한 바이오 에너지원은 원료수급 안정성과 국내 인프라를 활용한 것을 우선적으로 검토해야 할 것으로 생각된다. 바이오 에너지 중 이미 상용화되어 국내 보급 중인 바이오디젤에 대한 차세대 원료의 개발이 현재 당면한 과제가 되고 있다. 물론 해조류를 이용한 바이오에탄올의 생산이 좀 더 연구되어 상용화 된다면 3면이 바다인 우리나라에 있어 더 없이 좋은 바이오 에너지원이 될 것으로 예상된다.

바이오연료의 경우 원재료가 곡물일 경우 심각한 곡물가 상승을 일으켜 식량난을 일으킬 수 있기에 전처리를 한 셀룰로스 원료와 같이 비식량자원을 통한 바이오 에너지의 획득이 필요하다.

바이오연료의 이용은 이미 선택이 아닌 필수가 되어가고 있으며 국내 실정에 맞게 외국 사례를 벤치마킹하여 능동적으로 에너지 자주화에 기여할 수 있도록 해야 한다.

8. 결론

1. 전 세계적으로 석유자원 고갈에 따른 탈석유 대응 에너지원 다양화와 기후변화 대응을 위

한 온실가스 저감을 위한 저탄소 에너지 정책이 중시되고 있는 현실이며, 이러한 저탄소 에너지 정책 중에서 수송부문의 온실가스 감축의 수단으로 바이오매스로부터 바이오연료의 생산하여 사용을 확대하고 있는 실정에 있다.

2. 바이오매스 유래 바이오연료는 화석에너지가 갖는 문제점인 자원고갈에 대한 대비책, 자원의 편중으로 인한 에너지난의 해소, 온실가스의 방출 등의 문제점으로 인하여 적극 검토하여야 한다.
3. 바이오연료의 풍부한 원료기반으로 활발히 생산하고 보급 중인 미국, 브라질, 중국 및 독일 등의 해외 시장동향을 파악하여 국내 바이오 에너지의 원료수급 안정성과 인프라 여건을 파악하여 국내에 적합한 바이오연료를 도입을 검토해야 할 것이다.
4. 바이오연료의 수요 및 창출을 위해 각국에서 시행되고 있는 지원, 금지 및 의무혼합정책을 적극 검토하여 지역적, 환경적 특성에 맞는 제도를 도입하며, 새로운 대안의 검토도 적절하게 이루어져야 한다.

감사의 글

이 연구는 서울과학기술대학교 교내 일반과제 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. R.H. Kim, Transformation and Industrialization of Biomass Energy,(2005)
2. J.Y. KIM, et al, Environment and Energy Enginnering, 287 *Dong-Hwa Technology* (2009).
3. E. M. Hong et al, Biomass and Bioenergy : Potential Estimation and Current Status and Outlook, *Korea national Committee on Irrigation and Drainage*, 14. (2), 255, (2007).
4. E.S. Yim, et al, Research of Introduction

- of Renewable Fuel Standard, *Ministry of Knowledge Economy*(2010).
5. J.S. Lee, Current Status and Outlook of Biomass energy and Technologies, *The Korea Gas Union*, 50(2004).
 6. H.I. Park, Crisis of industry of Bioethanol and Rise of the Next generation for Biofuel in U.S.A., *Samsung Economic Research Institute*, **396**, 1(2012).
 7. J.G. Ryu, et al, Strategies to Industrialize the Algae Bio-business and Policy Direction, *Korea Maritime Institute*, 7(2009).
 8. C.S. Yoon, Renewable Energy, 336, *Infinity books*(2009)
 9. J.S. Lee, Bio(For Transportation), 25, *Bookshill*(2008).
 10. C.G. Phae, Biomass and Bio Gasification Technology, 124(2008).
 11. J.S. Chang, Hydrogenation Catalysts for production of High Efficiency Biobutanol Technology, *Korea Research Institute of Chemical Technology*(2011).
 12. J.H. Park, Development of Biobutanol Productivity Improvement, *Financial news* (2012).
 13. Jin suk Lee and Young Jae Lee, Current Aspects and Future Prospects of Bioethanol as a Motor Fuel, *Auto Journal*, **28**(5). 25(2006).
 14. P. Predaris et, Biodiesel 101, Renewable Energy Group(2007).
 15. H. PRANKL et, Standardisation of Biodiesel on a European Level. *European Motor Biofuels Forum*, 3(1999).
 16. R. Goosen et al, Establishment of the Guidelines for the Development of Biodiesel Standards in the APEC Region, *APEC Biodiesel Standard EWG*, 74(2007).
 17. J-K. Kim, D. M. Lee, C. K. Park, E-S. Yim, C-. S. Jung, K. Kim, Y. S. Oh, 2011, Study on potential feasibility of biomethane as s transportation fuel in Korea, *New & Renewable Energy*, **7**(3), 17(2011).
 18. J-K. Kim, E-S. Yim, C-. S. Jung, 2011, "Study on comparison of global biofuels mandates policy in transport sector", *New & Renewable Energy*, **Vol. 7**(4), 18 (2011).
 19. Fuel Ethanol(Renewable) Exports by Destination, *U.S. Energy Information Administration*.
 20. Fuel Ethanol(Renewable) Imports, *U.S. Energy Information Administration*.
 21. Biodiesel Overview, *U.S. Energy Information Administration*.
 22. J.K. Kim, The Supply Policy Trend of Domestic and International Bio Energy, *K-Petro*,(2011).
 23. C.H. Jung, Quality property of bioethanol blends & counterplan of infrastructure, *Renewable Energy*, **2**(4) (2006)
 24. J.H. Bae, Economics and Environmental Assessment of Biodiesel Supply Policy, *Korea Energy Economics Institute*, 10(2009).
 25. C.S.Chung, et al, Actual Assessment to Introduce Bio-ethanol Blended Fuel, *Ministry of Knowledge Economy*, 34 (2008).
 26. K.C. Cho et, A Study on Transport Characteristics of MTBE(Methyl Tertiary Butyl Ether) in Soil, *J.of KSEE*. **30**(2)(2008).
 27. C. H. Jung, Quality property of bioethanol blends & counterplan of infrastructure, *Renewable Energy*, **2** (2006).
 28. J.T. Hyun et al, Outlook of Agricultural 2007(I), *Korea Rural Economic Institute*, 209(2007).