

글로벌 측면에서 본 바이오디젤의 현황과 전망

이문영 · 이진휘^{†,*} · 광정민* · 김재곤**

서울과학기술대학교 에너지환경대학원

서울과학기술대학교 화공생명공학과*

한국석유관리원 석유기술연구소**

(2013년 9월 11일 접수; 2013년 9월 25일 수정; 2013년 9월 26일 채택)

Current Situation and Overview of Biodiesel over the Global View

Moon-Yong Lee · Jin-Hui Lee^{†,*} · Jung-Min Kwak* · Jae-Kon Kim**

*Graduate School of Energy and Environment, Seoul National University of Science and Technology,
Seoul, 139-743, Korea*

**Department of Chemical Engineering, Seoul National University of Science and Technology,
Seoul, 139-743, Korea*

***Petroleum Technology R&D Center, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority,
Chungcheongbuk-do, 363-883, Korea*

(Received September 11, 2013 ; Revised September 25, 2013 ; Accepted September 26, 2013)

Abstract : Biodiesel is one of the most important renewable energy, since it is one of the most important alternative and eco-friendly energy source compared to fossil energy, especially for diesel engine-equipped vehicles. It is now coming up for preparation of biodiesel as the alternative that applies the heterogeneous catalyst, super critical state and various methods used in order to reduce the stages of the processes be converted and separation stages started from oil and fat which are originated from animals and wastes, and those new methods bring eco-friendly as well, though some of those are stand on research step so far.

It is necessary that nation provides the tax exemption program for the supplier and strengthen the research system for the farming crops relate to fat and oil. It can improve the development of biodiesel which sustains stability against oxidation and keeps good mobility over the low temperatures in the winter season by new additives and develops new processes to show good harmony with diesel engine.

Keywords : Biodiesel, Eco-friendly energy, Catalyst, Supercritical stste, Stability

[†]Corresponding author
(E-mail: jinhui@seoultech.ac.kr)

1. 서론

1895년 Dr. Rudolf Diesel에 의해 세계 최초로 개발된 디젤엔진의 연료는 지금의 석유계 경유가 아닌 땅콩기름이었다. French Otto사가 1900년 파리박람회에서 땅콩기름을 사용하여 디젤엔진을 운전한 기록이 남아있다. 그 후 1990년 파리 세계 전시회에서 선보인 디젤엔진은 세계대전으로 인한 수송 수요저가 발생되면서 발전이 거듭되었다. 그러나 대규모 값싼 연료의 필요성으로 인하여 석유로부터 식물성연료와 동일한 물성을 갖는 현재의 경유가 개발되어 생산됨으로써 값비싼 청정 연료인 바이오디젤은 종적을 감추게 되었다[1, 2].

그러나 최근 석유매장량의 한계와 환경적인 문제로 인해 바이오디젤에 대한 관심이 증가되고 있다. 특히, 산업혁명 이후 인류는 화석연료를 이용함으로써 문명을 급속도로 발전시켜 왔지만 무분별한 화석연료의 사용으로 인해 온실가스(CO₂)를 대량 배출시킴으로써 지구온난화를 가속시켰다. 또한 자동차 및 석유제품의 사용량이 급격히 증가되어 매장량이 한정되어 있는 화석연료의 부족을 야기시켰다. 이에 지구온난화의 완화 및 해결의 목적으로 선진국들에게 온실가스 배출량을 의무적으로 감축하도록 규정하는 교토의정서(Kyoto Protocol)가 2005년도부터 발효되었다[1-3].

우리나라는 97% 이상의 에너지를 해외로부터 수입하고 있으며 석유 의존도 완화, 에너지원 다양화, 온실가스 감축, 대기환경 개선 및 환경규제 대응 등을 위해 2002년 5월부터 2005년 12월까지 4년여 동안 바이오디젤 시범보급 사업을 추진하였다[4]. 이후 바이오디젤 시범보급 고시는 바이오디젤 이용 및 보급 확대와 연료의 인정에 관한 고시로 개정이 되어 2007년 12월까지 면세지원을 하였다[4]. 이런 사업을 통해 2008년을 시작으로 현재에는 수송용 연료로 시장에서 유통되는 자동차용 경유에는 바이오디젤이 2.0%(BD2) 혼합되어 판매되고 있다. 현재까지 에너지 다변화 정책을 통한 발전용 연료의 경우에는 원자력과 LNG를 도입하여 화석연료에 대한 의존성을 많이 줄였지만 수송부문에서는 대체에너지 보급이 활성화되지 못하고 있다. 더구나 우리나라도 2013년부터 교토협약에 의한 이산화탄소 배출 규제 대상국이 될 가능성이 높기 때문에 수송용 바이오연료 보급을 통해 이산화탄소 배출 저감을 위한 적극적인 대응이 필요하다. 2007년 BD0.5

도입에 따른 바이오디젤 상용화는 아시아 국가 중에서는 최초였으며, 국내에서 최초로 상용화된 석유대체에너지로서 교토협약 대응을 위해서도 큰 의미를 갖는다. 그러나 태국의 경우 BD2를 보급하고 있으며 아시아 국가들도 바이오디젤 도입을 빠르게 진행하고 있다. 바이오디젤은 재생 가능한 자원이고 CO₂ 저감과 배출가스를 저감하는 등 여러 가지 장점을 가지고 있으며, 최근 경유가격의 급격한 상승으로 가격경쟁력도 갖추어진 것으로 보인다. BD20의 경우 바이오디젤의 시범보급 사업기간 동안 도출된 연료 안정성의 부족으로 적절한 품질관리가 되지 않으면 필터 막힘 현상, 시동성 악화 및 금속부품의 부식 등을 유발하는 문제점이 도출되기도 하였다[5, 6]. 현재 우리나라에서 생산되는 바이오디젤의 원료 물질은 대부분 대두유와 폐식용유이며 유럽에서 주로 사용되는 유채유보다 품질 특성이 다소 떨어진다. 장기적으로 석유대체연료로서 바이오디젤의 보급이 활성화되기 위해서는 시범보급 사업기간 동안에 도출된 다양한 문제점들이 개선되어야 하며, 식물성 오일의 다변화도 필요하다.

이 논문에서는 바이오디젤이 대체에너지로서 갖는 중요성을 필요성과 장단점 등을 토대로 기술하고, 공업화 된 생산공정과 아울러 연구 중에 있는 중요한 제조공정을 함께 비교 고찰하였다. 바이오디젤의 생산 및 소모량, 수출입 현황, 주요 국가의 자국원료 사용량 등을 비교 고찰하여 거시적 측면에서 수급 및 보급 확산 방안 등 대체 에너지로서 바람직한 발전 방향을 제시하였다.

2. 전반적인 개요

2.1. 필요성

친환경적인 측면에서 교토의정서 등과 관련된 수송부문의 온실가스 저감을 위한 목표 달성과 도시의 대기환경을 개선시키기 위해서는 바이오디젤을 보급하는 정책이 지속적으로 필요하다. 또한 바이오디젤을 사용함으로써 기존의 경유에 비해 일산화탄소, 미세먼지와 같은 대기오염 물질의 배출이 감소하고 폐자원 재활용에 따른 환경개선 효과도 기대할 수 있다.

에너지 측면으로 보면, 화석연료는 향후 고갈이 불가피하나, 바이오디젤은 지속가능한 신재생 에너지로서 미래 수송에너지 분야의 신 성장 동력으로 기대할 수 있다. 국내에 있는 폐식용유

및 폐동물성유를 활용하여 환경개선과 함께 에너지자립도 제고 효과 또한 가능하다.

산업 및 기술 측면에서는 기 구축된 보급 인프라를 활성화하여 이를 차세대 바이오연료의 조기 개발을 촉진하는 기반으로 활용하는 것이 필요하다[7].

2.2. 연료로서의 장단점

바이오디젤이 갖는 연료로서의 장점은 에너지 자원의 고갈 문제가 없고, 폐식용유 등 폐자원의 활용이 가능하며 바이오디젤 사용 시 발생된 이산화탄소는 식물의 광합성작용으로 회수가 가능하다는 것이다. 또한 산성비의 주범인 황산화물이 전혀 배출되지 않는다. 바이오디젤은 합산소 연료이므로 발암물질인 입자상 물질 및 일산화탄소 등의 유해배출가스를 저감시킬 수 있고, 세탄가가 경유보다 높아서 디젤엔진에 그대로 적용이 가능하다. 경유의 윤활성 저하 대책으로 사용 가능하여 일반적으로 경유에 1% 혼합하면 40%가 향상되는 효과가 있다. 그리고 디젤엔진은 연료효율이 휘발유엔진보다 좋을 뿐만 아니라 강력한 힘을 요구하는 동력원이 될 수 있다[8-12].

바이오디젤이 갖는 단점은 급속한 중합반응을 일으킬 수 있는 산화안정성과 저온유동성 등의 해결방안이 아직까지 미비한 상태이며 바이오 디젤 생산비용의 50~85% 이상을 차지하고 있는 원료비의 절감이 필요하다는 것이다. 또한 식용으로도 이용되는 작물을 원료로 하여 생산량을 증가시키려 할 경우 식량고갈의 문제를 야기할 수 있다[13]. 우리나라에서는 원료의 높은 수입 의존도, 식량가격 상승 유발 등의 문제가 제기되어 왔고, 이에 대해 단기적으로는 동물성 바이오디젤의 상용화, 해외농장개척 활성화를 추진하고 장기적으로는 차세대 바이오연료 개발을 위한 R&D 투자를 활성화하여 바이오디젤 산업을 미래 신성장 동력으로 산업화할 예정이다[14].

2.3. 종류, 물성 및 적용

2.3.1. 종류 및 물성

바이오 디젤은 대두유, 팜유 등의 식물성 기름과 동물성 기름, 폐식용유 등을 원료로 사용한다. 경유와 물성이 유사하며 경유에 소량 혼합사용하는 경우 기존 엔진의 개조가 필요 없으며 출력 및 연비 변화는 거의 없다고 할 수 있다[7, 15, 16].

2.3.2. 적용 방법

바이오 디젤의 종류는 경유와 바이오디젤의 혼합 정도에 따라 나뉜다. BD5는 바이오디젤 5%와 경유 95%를 혼합한 형태, BD20은 바이오디젤 20%와 경유 80%를 혼합한 형태, BD30은 바이오디젤 30%와 경유 70%를 혼합한 형태, 그리고 BD100은 바이오디젤 100%로 순 바이오 디젤이라고 할 수 있다[7].

유럽, 북미, 중남미, 아시아, 호주 등 세계 각국에서 BD1, BD2, BD5, BD20, BD30, BD100 등 다양한 형태로 혼합 제조하여 사용하고 있으며 주로 수송용으로 사용된다. 이탈리아에서는 초기에 난방용으로 사용하다가 지금은 인센티브 혜택이 없어져 난방용으로 사용되지 않는다. 독일의 경우 BD100은 승용차, 트럭, 버스 등의 바이오디젤 전용 차량을 대상으로 보급되고 있고, BD5는 일반차량을 대상으로 보급되고 있다. 미국도 차량 종류에 따라 혼합비율에 차등을 두고 있다[7].

3. 이론적 고찰

3.1. 제조이론

바이오디젤은 식물성유지나 동물성지방의 주성분인 트리글리세라이드를 알코올과 반응시켜 알킬에스테르의 형태로 전환시킨 물질이다. 한분자의 트리글리세라이드가 촉매 하에서 3분자의 알코올과 반응하여 한 분자의 글리세린(글리세롤)과 3분자의 바이오디젤이 만들어진다. 반응식은 단순하나 원료물질인 트리글리세라이드의 순도와 촉매의 종류, 알코올의 양, 반응시간, 반응온도 등 다양한 반응조건을 이용하여 최적의 조건을 찾아내는 것이 중요하며 이는 곧 생산단가와 직접적으로 연결된다. 현재 전 세계적으로 가장 많이 사용되어지고 있는 바이오디젤의 생산방법은 염기촉매를 이용하는 방법이다. 염기촉매를 이용할 경우 다른 방법들에 비해 반응시간을 단축시킬 수 있는 장점이 있고, 일반적으로 가격이 저렴한 KOH, NaOH, NaOCH₃와 같은 염기촉매를 사용한다. 염기촉매 외에 산촉매, 환경 친화적인 효소촉매, 촉매를 사용하지 않는 초임계상태, 그리고 촉매의 제거가 쉽고 재사용이 편리한 비균질계 촉매 조건하에서도 생산이 가능하다[4, 17].

바이오디젤은 에스테르 교환반응에 의해 생산하는 방법이 가장 효과적이다. Fig. 1은 에스테르

교환반응식을 나타낸 것이다. 에스테르 교환반응은 촉매 존재하에서 트리글리세리드를 알코올과 반응시켜 지방산알킬에스테르(FAME) 및 글리세롤을 생산한다. 에스테르 교환반응에서 촉매는 균질촉매 또는 비균질촉매를 사용한다. 알칼리 촉매를 사용하기 위해서는 원료에 물 및 자유지방산(FFA)의 함량이 낮아야 한다[18]. 4% 이하의 자유지방산을 갖는 공급재료(식용유, 일부 음식물수준의 동물성 지방)는 사전 처리반응이 필요하지 않으며 4% 이상의 자유지방산을 갖는 공급재료(식용에 적합하지 않은 동물성 지방, 재활용된 기름)에는 사전처리 반응이 필요하다. 4% 이상의 자유지방산을 갖는 원료에 대해서는 강한 산성 촉매(황산)에서 알코올과 반응하여, 자유 지방산이 바이오디젤로 변환하고 잔류 트리글리세린은 초에스테르화 반응을 통해 바이오디젤로 변환한다. 이와 같은 산성 에스테르화는 4% 이상의 자유지방산을 함유하는 공급재료를 대상으로 바이오디젤의 생산을 증가하기 위해 진행한다. 반응 종료 후 물을 분리하고 초에스테르화 과정으로 이동한다. 초에스테르화는 4% 이하의 자유지방산을 함유하는 공급재료와 산성 에스테르화 과정 후의 생성물에 메탄올을 첨가하면 바이오디젤과 글리세린 2개의 층으로 분리되어 생성된다. 이후 메탄올은 역반응을 금지하기 위하여, 바이오디젤과 글리세린을 분리한 후 제거하여 초기과정으로 돌아가 재활용한다[19]. 이때에 알킬에스테르, 트리글리세린, 물은 지방산을 가수분해하여 FFA 함량을 높인다. 이렇게 형성된 FFA는 알칼리촉매와 반응하여 비누를 생성하므로 분리 및 정제를 어렵게 하며, 또한 촉매활성도를 낮춘다. 이를 극복하기 위해서 고체촉매 및 효소촉매와 같은 비균질촉매 개발을 위해 노력해야 한다.

생성된 바이오디젤은 불순물을 제거하기 위해 글리세롤을 먼저 분리한 후, 진공증류방법으로 잔

여 알코올을 제거한다. 이후 바이오디젤에서 촉매, 비누, 잔여글리세롤을 분리하기 위해 물로 세척하며, 남은 물은 증발기 또는 진공건조기로 제거한다. 만약, 에스테르 교환반응에서 물이 존재한다고 가정하면 트리글리세리드의 가수분해가 촉진되고 FFA 함량이 증가한다. 알칼리 촉매를 이용한 에스테르 교환반응에서 FFA 및 물은 비누형성, 촉매소모, 촉매효능 감소 등의 부정적 영향으로 낮은 생성수율을 가져온다. 촉매를 사용하는 에스테르 교환반응에서는 물의 영향이 매우 크다. 촉매의 선택은 사용하는 원료의 상태에 따라 결정한다. 산 및 알칼리 촉매의 성능은 원료의 FFA 및 물의 함량에 영향을 받는다. 비균질촉매에서는 에스테르교환반응에서 FFA 및 물의 함량에 따른 영향은 비교적 적으나 반응속도는 느리다[18, 12, 20].

3.2. 제조방법

3.2.1. 염기촉매를 이용한 바이오디젤의 생산

염기촉매를 사용했을 때 알콕사이드(alkoxide, RO⁻)를 형성해 식물성유지의 카보닐그룹(carbonyl group)을 공격함으로 반응이 진행된다. 그러나 이 반응과정에서 원료물질에 유리지방산이 존재할 경우(>1 wt%) 비누화 반응이 일어나 분리·정제하는 데 많은 어려움을 초래하게 된다. 다음 반응식은 비누화반응(soap reaction)을 나타낸 것으로 이렇게 형성된 비누는 계면활성제의 역할을 하며 겔, 거품형성과 함께 점도를 증가시켜 순수한 바이오디젤을 정제하는 데 방해요소로 작용한다[21, 22]. 이러한 부반응(side reaction)을 방지하면서 바이오디젤의 수율을 높이기 위해 원료물질에서 물과 유리지방산(free fatty acid)이 없는 정제된 원료물질을 사용할 필요가 있다.

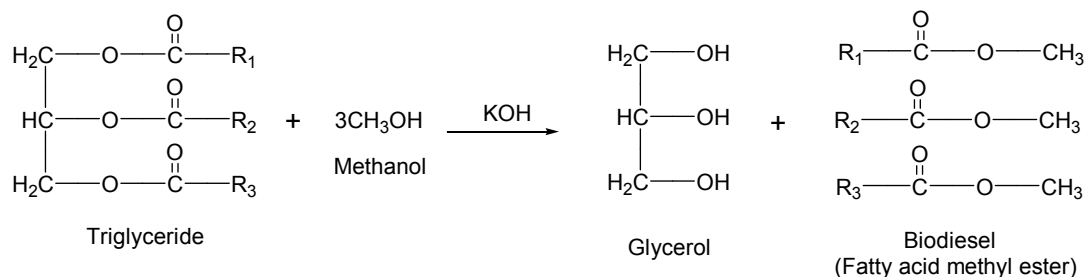


Fig. 1. Synthesis of biodiesel by transesterification

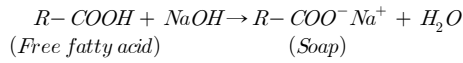


Fig. 2는 염기촉매를 이용해 바이오디젤을 생산하는 공정을 보여주고 있다. 염기촉매를 이용할 경우 순수한 원료물질만을 이용하는 것이 이상적이나 전체적인 생산원가 절약 차원에서 물과 유리지방산이 함유되어진 원료물질을 이용하게 된다. 이때 먼저 유리지방산을 산촉매 하에서 반응시켜 바이오디젤을 얻는 전처리과정을 거친 뒤 트리글리세라이드를 염기촉매 하에서 다시 반응시켜 바이오디젤을 얻는 방법을 사용함으로써 반응공정이 길어지는 단점이 있다. 또한 촉매의 중화과정을 거친 뒤 바이오디젤과 부산물인 글리세린(glycerine)을 분리하는 복잡한 공정과 큰 비용이 요구된다[23].

3.2.2. 산촉매를 이용한 바이오디젤의 생산

산촉매는 가격이 저렴하다는 이유로 많이 사용되며 보통 황산이나 염산이 사용된다. 알코올이 쉽게 활성화된 카보닐 그룹을 공격하게 되며 산촉매를 이용한 바이오디젤의 생산반응이 반복되면서 3분자의 바이오디젤과 한 분자의 글리세린이 생산된다. 바이오디젤의 생산반응은 모두 가역과정이며 정반응, 즉 바이오디젤이 생성되는 방향으로 빨리 진행되어야 부반응의 가능성이 줄어들어 수율이 높아지며 반응시간이 짧아진다. 이를 위해 알코올의 양을 증가시키면 정반응 속도가 상승되나 알코올의 가격과 반응 후 알코올 제거 공정을 고려했을 때 보통 알코올과 출발물질(식물성유지)의 비율이 6:1 정도로 사용된다[23].

Fig. 3은 산촉매를 이용해 바이오디젤을 생산하는 공정을 보여준다[21]. 먼저 순도가 낮은 식물성유지에서 부유물과 물을 제거시킨 뒤 산촉매 하에서 바이오디젤을 생산한다. 산촉매를 이용한

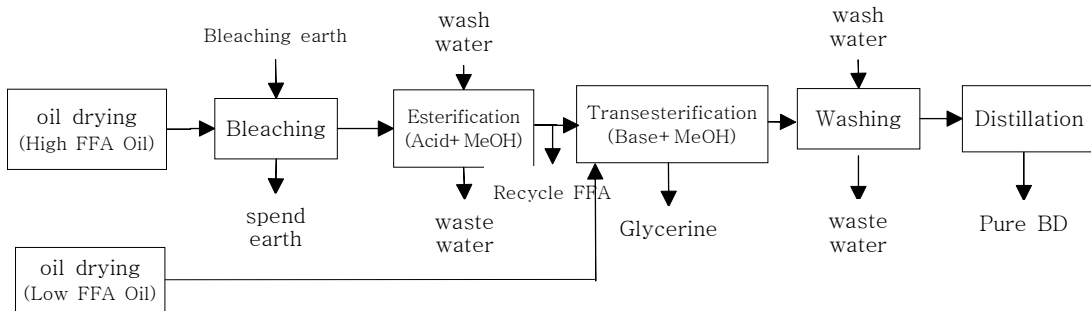


Fig. 2. Biodiesel manufacturing process by using base catalyst.

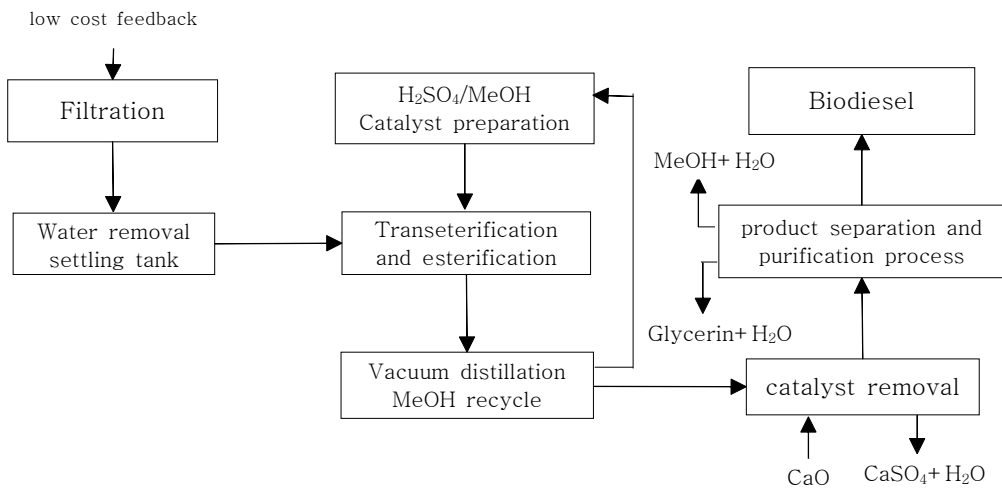


Fig. 3. Biodiesel manufacturing process by using acid catalyst.

여 바이오디젤을 생산하는 과정은 원료물질에 물과 유리지방산이 존재해도 반응결과나 정제공정에 크게 영향을 받지 않기 때문에 정제되지 않은 저가의 원료물질을 사용할 수 있다는 점에서 유리하다. 반면에 반응이 종결된 뒤 산촉매를 중화시키는 과정에서 화학염 형태의 오염물이 형성되며, 사용되는 산촉매에 의해 반응로가 부식되는 단점이 있다. 또한 산촉매 역시 염기촉매를 이용할 때와 마찬가지로 공정상의 복잡성이 요구되며, 반응속도가 늦어 생산성이 떨어지는 단점이 있어서 개선이 요구된다.

3.2.3. 효소촉매를 이용한 바이오디젤의 생산

이 방법은 염기촉매나 산촉매 같은 화학촉매를 사용할 경우 발생할 수 있는 촉매에 의한 반응기 및 엔진기관의 부식 유발 방지와 공정의 복잡성을 줄일 수 있다. 보통 효소촉매로는 리파아제를 사용하며 이 경우에 엔진과 반응기를 부식시키는 단점이 없으며 분리정제 공정을 단순화시킬 수 있다. 또한 원료 중에 함유된 수분과 유리지방산에 의한 영향이 작으며 바이오디젤 뿐만 아니라 순도 높은 글리세린을 제품화시킬 수 있다는 장점이 있다.

Fig. 4로부터 효소촉매를 이용했을 시 공정이 단순화된 것을 볼 수 있다. 효소를 이용해 바이오디젤을 생산하는 방법은 아직 상업적으로 이용되고 있을 만큼 발전되고 있지는 않으나 화학촉매 대신에 다양한 효소를 이용해 바이오디젤을 합성하는 많은 연구결과들이 발표되고 있다. 이들 연구들은 주로 상업적으로 응용하기 위한 최적의

반응조건(온도, 알코올과 식물성유지의 몰비, 효소를 재생할 수 있는 미생물의 형태, 효소의 양, 반응시간 등)을 찾기 위한 연구들이다[24-26].

3.2.4. 초임계상태를 이용한 바이오디젤의 생산

바이오디젤의 생산에 있어서 반응시간을 단축시키고 수율을 높이기 위한 방법으로 다양한 촉매를 이용하고 있지만 반응이 끝난 뒤 순수한 바이오디젤을 얻기 위해 촉매를 제거시키는 공정이 도입되어야 한다. 이러한 복잡한 정제공정을 피하기 위해 촉매를 이용하지 않고 초임계 메탄올(supercritical methanol)을 이용한 비촉매 바이오디젤에 관한 연구가 이루어지고 있다. 초임계상태의 특성에 따라 메탄올분자가 식물성유지와 반응을 할 때 분자의 충돌횟수가 증가하므로 결과적으로 수 시간의 반응시간을 필요로 하는 다른 바이오디젤 생산방법들과 다르게 수분내로 반응종결이 관찰된다. 또한 초임계상태의 물과 메탄올은 산성을 띠므로 부가적인 산촉매를 이용할 필요가 없다는 이점이 있으며 이는 반응 후 중화공정, 세척공정, 건조공정, 폐수처리공정과 같은 복잡한 단계가 필요 없다는 장점이 있다. 뿐만 아니라 초임계상태 바이오디젤 생산에 있어서 물과 유리지방산의 존재여부가 결과에 크게 영향을 미치지 않는다는 점이다. 이러한 특성 때문에 정제되지 않은 식물성 유지, 특히 환경오염을 야기하는 폐식용유로부터도 바이오디젤을 생산, 에너지화할 수 있다[27].

Fig. 5는 초임계상태의 메탄올을 이용한 바이오디젤의 생산 공정을 보여준다. 반응이 종결된 후

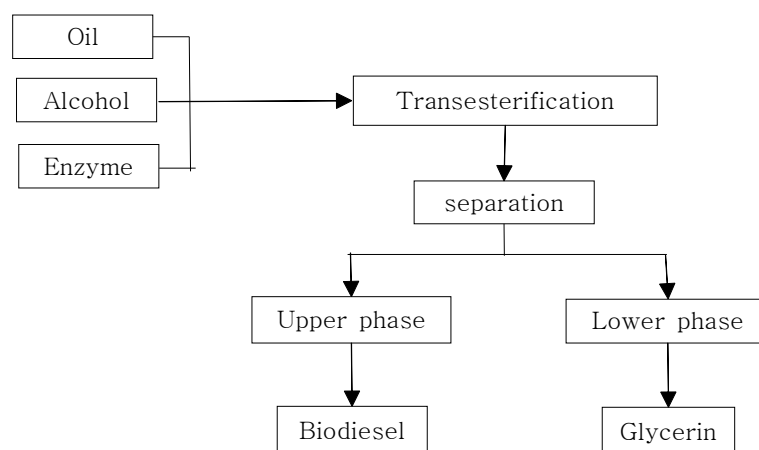


Fig. 4. Biodiesel manufacturing process by using enzyme catalyst.

반응혼합물은 방치하면 밀도가 높은 글리세린은 아래층에 침전되고 밀도가 낮은 바이오디젤은 위의 층으로 분리된다. 이 두 층을 분리한 뒤 메탄올을 제거시키면 순도 높은 바이오디젤과 글리세린을 얻을 수 있게 된다[28].

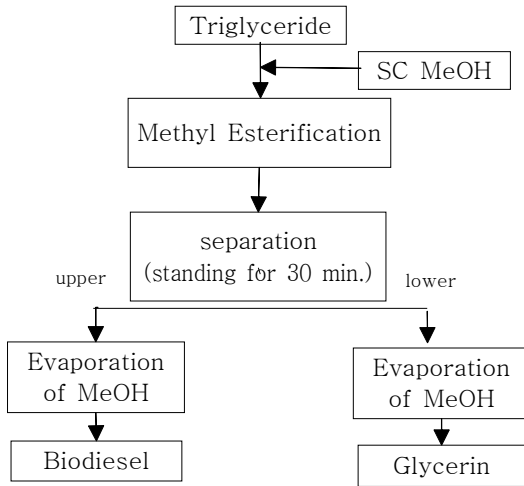


Fig. 5. Biodiesel manufacturing process by using supercritical state.

3.2.5. 비균일 촉매를 이용한 바이오디젤의 생산

반응과정을 고려하여 저렴하고도 쉽게 촉매를 제거시킬 수 있는 방법으로 비균일 촉매 (heterogeneous catalyst)를 이용하는 방법이 보고되고 있다[29]. 비균일 촉매는 앞서 설명한 염기 촉매, 또는 산촉매의 형태이나 반응혼합물에 녹지 않고 반응에 참여하므로 반응이 종결된 뒤 단순한 필터링(filtering)을 통해 제거 될 수 있으므로 분리정제 공정을 단순화시킬 수 있으며 이렇게 분리된 촉매는 재사용이 가능하다.

최근에 보고되고 있는 바이오디젤의 생산에 있어서 비균일 촉매는 기존의 산, 염기촉매의 장점을 지니면서 촉매의 제거가 손쉬운 이점이 있지만 여전히 다른 촉매들에 비해 가격이 높다는 단점을 지니고 있다. 보다 저렴하고 바이오디젤을 효과적으로 생산시킬 수 있는 비균일 촉매의 개발이 이루어져야 할 것이다.

4. 생산현황, 수출입 및 경제성 비교

4.1. 국내·외 생산 및 보급현황

4.1.1. 국외현황

Fig. 6에서 보는 바와 같이 세계 바이오디젤 보급은 주로 EU를 위주로 이루어지고 있으며, 생산과 소비에서 높은 비율을 보여주고 있다. 2007년 이후 EU는 바이오디젤의 생산 보다 소비가 증가하여 일정부분을 동남아와 남미로부터 수입하고 있는 실정에 있다[30]. 2009년 세계 바이오디젤 생산량은 51억 갤런이며, 유럽연합이 80%를 차지하고 있고 미국은 2008년 기준 650 백만 갤런에 그치고 있다.

북미의 경우에 바이오디젤의 생산 추세는 2008년까지 증가하다가 감소하였으나 2011년부터 가파르게 증가하는 경향을 나타냈고 남미의 경우 2011년까지 꾸준하게 증가하고 있다. EU는 세계적으로 가장 많은 바이오디젤 생산량을 차지하고 있지만 생산량에 비해 소비량이 더 많은 추세이다. 이는 생산량이 크게 증가하지 않는 반면에 소비가 증가하고 있기 때문이다. 아시아는 아직까지는 바이오디젤의 생산량이 많지는 않지만 동남 아시아를 중심으로 꾸준히 증가하고 있는 상태이다. 바이오디젤의 소비량은 전 세계적으로 꾸준히 증가하고 있으며 바이오디젤 정책에서 앞서고 있는 EU를 중심으로 소비되고 있다. 상대적으로 개발도상국이 많은 남미와 아시아 국가들도 바이오디젤의 소비량이 증가하고 있어서 이 지역에서도 환경문제에 대한 관심이 커지고 있음을 알 수 있다.

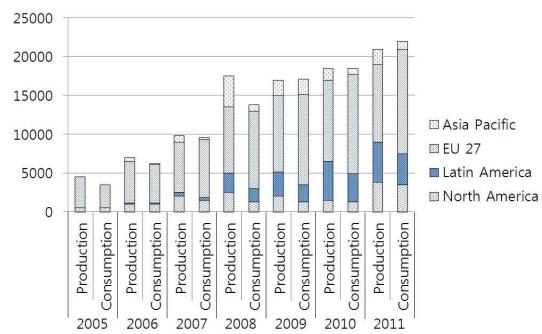


Fig. 6. Biodiesel production and consumption over region on 2005-2011(million liters) [31].

2012년 전 세계적으로 바이오디젤은 주로 유럽을 위주로 BD2 ~ BD15 수준으로 혼합하여 보급 중에 있다. 북미의 미국은 각 주별로 차이는 있으나, BD2에서 최대 BD10까지 혼합 중이

며, 캐나다도 일부 주에서 최대 BD5까지 의무혼합 중에 있다. 남미의 브라질 BD5, 아르헨티나 BD7와 콜롬비아 BD10 등의 수준으로 의무혼합 보급 중에 있다. 또한 유럽은 독일 최소 BD4.4, 프랑스 BD7 등의 수준으로 의무혼합 중이며, 아시아는 태국 BD3, 필리핀 BD2, 대만 BD2 및 중국 해남성 BD5 등의 수준으로 의무혼합 보급 중에 있다[31, 32].

4.1.2. 국내 바이오디젤 보급 현황

바이오디젤 연료유는 동·식물성유지에서 유래된 원료 만을 사용하여 제조한 연료를 BD100, 이를 경유에 혼합하여 바이오디젤을 5% 이내로 혼합한 연료를 BD5, 바이오디젤 20%를 혼합한 연료를 BD20 등으로 정의하고 있다. BD5는 정유사가 제조하여 기존 석유제품의 유통망을 통하여 보급하고 있으며, BD20은 바이오디젤 생산업자가 제조하여 자가 정비시설과 자가용 주유취급소를 갖춘, 관리가 가능한 사업장(버스, 트럭, 건설기계)에 보급하는 것으로 생산과 유통체계가 이루어져 있다.

Fig. 7은 2002년부터 2012년까지 국내에서 판매된 바이오디젤의 혼합비율과 양을 나타낸 것이다[28]. B20은 2002년~2006년까지 보급된 BD20을 말하며, 2007년 이후 소멸되었다. B5는 2006~2012년까지 디젤 차량에 보급된 바이오디젤의 양으로, 연도별 혼합비에 차이가 있는 것은 혼합비율을 BD0.5로 출발하여 2010년 이후 BD2.0으로 더 이상 혼합비의 증가가 이루어지고 있지 않기 때문이다. 2006년부터 2010년에 걸쳐서 판매량이 급격히 증가한 것은 정부의 바이오디젤 증장기 보급확대 정책에 의한 것이며, 2010년 이후 바이오디젤 혼합비율이 2%로 정체되면서 현재 395.1천 kL~397.8천 kL이 보급되고 있다.

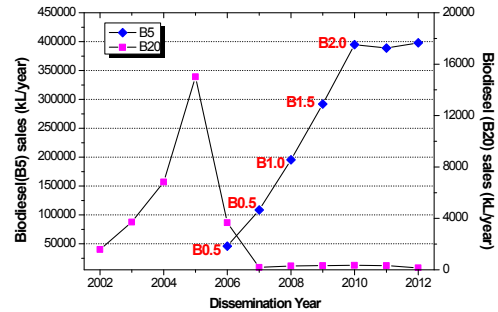


Fig. 7. Amounts of domestic biodiesel sold through recent years.

Table 1에 경유에 혼합하고 있는 바이오디젤의 총보급량을 2006년부터 보였으며, 2006년 49.5천 kL 수준의 바이오디젤 보급은 국가 바이오디젤 보급계획에 따라 점차 확대되어 2012년까지 총 1,828천 kL가 보급되었다.

Table 2는 BD5 혼합용 BD 보급량을 나타낸 표로 BD5(경유) 혼합용 바이오디젤은 정부-정유사 간 자발적 협약에 따라 목표(혼합비율을 매년 0.5% 씩 증가)가 순조롭게 달성되었다. BD5는 국내 정유 4사와 정부 간 자발적 협약에 의해 일반 경유 차량에 2010년까지 보급되었으며, 2011년 이후, '석유 및 석유대체연료 사업법' 경유 품질기준 고시에 의해 보급 되었다.

Table 3는 BD20 혼합용 바이오디젤 보급량을 나타낸 것이다. BD20의 경우, 바이오디젤 시범보급사업 시작인 2002년부터 2005년까지는 BD20 형태로 보급하다가 2007년에 전국적 상용화가 이루어지면서 BD5로 전환되면서 제한적으로 사용되었다. 따라서 2006년 3.7 천kL에서 2012년까지 0.3 천 kL 이내에서 보급되었다. BD20(바이오디젤 20%+경유)은 자기 책임 하에 관리 가능한, 지정사업장의 트럭 등에 제한 보급되었기 때문이다[14].

Table 1. Total amounts supplied of domestic biodiesel through recent years

Years	'06	'07	'08	'09	'10	'11	'12	Total
Supplied biodiesel (1,000kL)	49.5	108.7	195.7	292.4	395.1	389.2	397.8	1,828.4

Table 2. Amounts supplied of domestic BD5 mixture through recent years

Years	'06	'07	'08	'09	'10	'11	'12	Total
Supplied BD5 mixture(1,000kL)	45.8	108.5	195.4	292.0	394.8	388.9	397.6	1,823

Table 3. Supplied amounts of domestic BD20 biodiesel through recent years

Years	'06	'07	'08	'09	'10	'11	'12	Total
Supplied BD20(1,000kL)	3.7	0.2	0.3	0.4	0.3	0.3	0.2	5.4

4.1.3. 바이오디젤(BD) 산업 현황

Table 4는 바이오디젤 제조능력을 나타낸 표로써 2007년에 의무혼합제도 시행에 의해 급격하게 증가하였지만, 그 이후에는 큰 증가를 보이지 않고 있다. Table 1과 Table 4에서 현재 바이오디젤 보급량에 비해 생산 가능한 양과의 차이가 나고 있어서, 사업 형태의 다각화가 필요하고 의무혼합제도와 같은 정책적인 지원에 대한 노력도 필요하다는 것을 알 수 있다.

Table 5는 BD업체 매출액규모를 년도에 따라 나타낸 표로써 사업체 매출액도 2006년 627억 원에서 2012년 6,223억 원으로 의무혼합제도가 시행된지 6년여 동안 10배 가까이 증가한 것을 알 수 있다. 하지만 2011년까지 급격하게 증가하던 매출액 규모가 2011년부터 정체되어 바이오디젤 납품업체들이 시장 내에서 포화 상태로 2012

년에는 오히려 매출액이 감소하는 경향을 나타내고 있다. 세계 각국은 현재 경제적 관점이 아닌 장기적 시각에서 에너지 안보, 에너지원 다양화 및 온실가스 감축 등의 목적으로 바이오디젤의 보급, 확대를 추진하고 있다. 국내에서도 신재생 에너지 보급 확대와 온실가스 감축을 목표로 바이오디젤의 보급 확대를 위해 다양한 노력이 필요하다.

Fig. 8은 국내 바이오디젤 생산사의 2012년도 바이오디젤 생산에 사용된 원료현황을 보여주고 있다. 국내 바이오디젤 생산사는 국산 원료인 폐식용유(waste cooking oil, WCO)가 41%로 가장 많이 사용하고 있고, 팜부산물(palm fatty acid distillate, PFAD)를 35% 수입하여 사용 있다. 그 외에 팜오일, 대두유 및 유채유를 사용하고 있다.

Table 4. Possible production capacity of domestic biodiesel through recent years

Years	'06	'07	'08	'09	'10	'11	'12	Total
Capacity (1,000kL)	400	1,000	1,100	1,110	1,120	1,120	1,204	7,054

Table 5. Total price of domestic biodiesel sold through recent years

Years	'06	'07	'08	'09	'11	'12	Total
Total price (hundred mil. won)	627	1,067	3,088	4,248	6,435	6,223	21,688

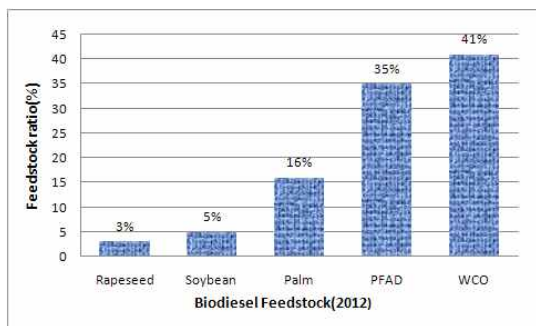


Fig. 8. Ratios of raw materials used for the production of biodiesel on 2012.

4.2. 바이오디젤의 수출 및 원료수급 현황

최근 국내 바이오디젤 생산회사는 바이오디젤 수출계약을 통하여 싱가포르, 유럽 및 미국 등에 2010년부터 수출을 시작하고 있다[33]. Table 6 은 국내에서 해외로 수출한 물량이 2010년 68,181 kL을 시작으로 2012년 54,457 kL를 수출한 실적을 보여주고 있다. 2010년 이후 국내 자동차용 경유에 혼합하고 있는 바이오디젤(BD5)의 혼합비율이 2%로 정제되면서 폐식용유 기반의 바이오디젤을 수출하여 업계 수익을 증대시키고 있으며, 이는 해외에서도 국내 바이오디젤 생산사의 우수한 품질을 인정하고 있다는 사실을

Table 6. Amounts of biodiesel exported through recent years

Years	‘10	‘11	‘12
Biodiesel exported(kL)	68,181	27,281	54,457

Table 7. Ratios of imported raw materials used for the domestic biodiesel production through recent years

Years	‘06	‘07	‘08	‘09	‘10	‘11	‘12	Average
Imported ratios(%)	74	64	72	72	78	71	69	71

Table 8. Ratios of domestic raw materials used for the biodiesel production

Nations	England	Germany	U.S.A.
Ratios of biodiesel	10	78	100

입증하는 것이다.

Table 7는 바이오디젤의 수입원료 비중을 나타낸 것이다. 표를 보면 국내원료인 폐식용유를 활용하고 있음에도 불구하고, 전체적인 원료 수입의 준도는 크게 개선되고 있지 않은 상황이다. 이는 국내 폐식용유 수거체계의 개선을 통한 물량 확보도 중요하지 만, 새로운 원료작물의 개발 및 재배에 의한 국내 물량 증산을 통하여 안정적으로 국산 원료의 비율을 높여야 한다.

Table 8는 세계 주요국의 자국원료 사용 비율로 미국의 경우 원료의 100% 자급자족 하고 있다. 아직까지는 국토의 면적이 넓은 국가에서는 자국 원료를 사용하여 바이오디젤을 생산하는 경우가 많지만 그렇지 못한 국가는 원료를 수입하는 경우가 많다. 국내의 경우에도 원료에 대한 수입 의존도가 개선되지 않고 있어서 에너지 자립화를 위해 생산 원료 수급의 자립화가 시급히 요구된다.

5. 결론

1. 온실가스의 배출절감, 유가상승에 대한 대비 및 원료의 안정적 공급이라는 측면에서 바

이오디젤의 보급 확대에 주력하여야 한다.

2. 분리공정 단계를 단축하고 공정의 친환경성을 높이기 위한 방법으로 불균일촉매 공정과 초입계공정은 아직 연구 단계임에도 불구하고 좋은 대안이 될 수 있다.
3. 바이오디젤의 사용을 증가시키기 위해 세금혜택 등 정부의 지원책과 아울러 생산원가를 낮추기 위한 노력이 필요하다.
4. 국내의 경우 바이오디젤 원료의 대부분을 폐식용유, 팜유 및 팜부산물에 의존하고 있어서 (2012년도, 92%), 향후 바이오디젤 원료의 안정화를 기하기 위하여는 다양한 유지작물 원료의 국산화를 위한 연구와 대책이 절실히 요구된다.
5. 바이오디젤의 산화안정성 및 저온유동성 등의 문제점을 해결하기 위하여 첨가제 개발과 공정개발 등 제품의 품질향상에 주력하여 소비자 자신이 안심하고 사용할 수 있는 환경을 조성하여야 한다.

감사의 글

이 연구는 서울과학기술대학교 교내 일반과제 연구비 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

1. G. Knothe, J.V. Gerpen and J. Krahl, The Biodiesel Handbook, *AOCS Press* (2005).
2. J. -K. Kim, C. H. Jeon, E. S. Yim, C-. S. Jung, Fuel properties of various biodiesels derived vegetable oil., *J. of Kor. Oil Chem. Soc.*, **30**(1), 35 (2013).
3. Kyoto Protocol to the united nations framwrok conversion on climate change united nations(1998), http://treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtds_g_no=XXVII-7-a&chapter=27&lang=en
4. MOTIE (Ministry of Trade, Industry & Energy), K-Petro, Study on the Detailed Operating Plan of Renewable Fuel Standard (2013).
5. J. -K. Kim, E. S. Yim, C. H. Jeon, C. S. Jung and B. H. Han, Cold Performance of Various Biodiesel Fuel Blends at Low Temperature, *Int. J. Automotive Technology*, **13**, 293 (2012).
6. A. K. Agarwal, Biofuels (alcohols and biodiesel) Applications as Fuels for Internal Combustion Engines. *Progr. Energy Combust. Sci.*, **33**, 233 (2007).
7. Jieun An, Policy Evaluation and Improvement of Biodiesel Study, Korea Energy Economics Institute, p.4,21,33 (2009).
8. G. Knothe and K.R. Steidley, Lubricity of Components of Biodiesel and Petrodiesel. The Origin of Biodiesel Lubricity, *Energy Fuels*, **19**, 1192 (2005).
9. R. Dunn and M.O. Bagby, Low-Temperature Properties of Triglyceride Based Diesel Fuels: Transesterified Methyl Esters and Petroleum Distillate. *JAOCS*, **72** (12), 895 (1995).
10. G. Knothe, Dependence of Biodiesel Fuel Properties on the Structure of Fatty Acid Alkyl Esters, *Fuel Process Technol.*, **86**, 1059 (2005).
11. S.P. Singh and D. Singh, Biodiesel Production through the Use of Different Sources and Characterization of Oils and their Esters as the Substitute of Diesel: a Review, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, **14**, 200 (2010).
12. C. Carraretto, A. Macor, A. Mirandola, A. Stoppato and S. Tonon, Biodiesel as Alternative Fuel: Experimental Analysis and Energetic Evaluations, *Energy Convers. Manage.*, **29**, 2195 (2004).
13. T.P. Durrett, C. Benning and J. Ohlrogge, Plant Triacylglycerols as Feedstocks for the Production of Biofuels. *Plant J.*, **54**, 593 (2008).
14. Y. Yu and Y. Kim, Press MKE Second Term Supply Plans Biodiesel, 1 (2010).
15. I.M. Atadashi, M.K. Aroua and A.A.

- Abdul, High Quality Biodiesel and its Diesel Engine Application: a Review, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, **14**, 1999 (2010).
16. J.K. Kim, E.S. Yim, C.H. Jeon, C.S. Jung and B.H. Han, Cold Performance of Various Biodiesel Fuel Blends at Low Temperature, *Int. J. Auto. Tech.*, **13**, 293 (2012).
 17. M. Mittelbach and C. Remschmidt, Biodiesel - the Comprehensive Handbook, Boersedruck GmbH, Graz, Austria, (2004).
 18. I.M. Atadashi, M.K. Aroua, A.R.A. Aziz and N.M.N. Sulaiman, The Effects of Water on Biodiesel Production and Refining Technologies: A Review, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, **16**, 3456 (2012)
 19. Chun-suk Yun, Alternative Energy, intervision, p.358-360 (2008)
 20. Y.J. Hyun and H.S. Kim, Conversion of Vegetable Oil into Biodiesel Fuel by Continuous Process, *J. Kor. Oil Chem. Soc.*, **19**, 327 (2002).
 21. E. Lotero, Y. Liu, D.E. Lopez, K. Suwannakarn, D.A. Bruce and J.G. Goodwin Jr, Synthesis of Biodiesel via Acid Catalysis, *Ind. Eng. Chem. Res.*, **44**, 5353 (2005).
 22. Y.K. Hong and W.H. Hong, Biodiesel Production Technology and Its Fuel Properties, *Korean Chem. Eng. Res.*, **45**, 424 (2007).
 23. L.C. Meher, D.V. Sagar and N.S. Naik, Technical Aspects of Biodiesel Production by Transesterification—a Review, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, **10**, 248 (2006).
 24. A. Salis, M. Pinna, M. Monduzzi and V. Solinas, Biodiesel Production from Triolein and Short Chain Alcohols through Biocatalysis, *J. Biotechnol.*, **119**, 291 (2005).
 25. H. Nouredini, X. Gao and R.S. Philkana, Immobilized Pseudomonas Cepacia Lipase for Biodiesel Fuel Production from Soybean Oil, *Bioresour. Technol.*, **96**, 769 (2005).
 26. A.V. Paula, D. Urioste, J.C. Santos, and H.F. de Castro, Porcine Pancreatic Lipase Immobilized on Polysiloxane-Polyvinyl Alcohol Hybrid Matrix: Catalytic Properties and Feasibility to Mediate Synthesis of Surfactants and Biodiesel, *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, **82**, 281 (2007).
 27. A. Demirbas, Studies on Cottonseed Oil Biodiesel Prepared in Non-Catalytic SCF Conditions, *Bioresour. Technol.*, **99**, 1125 (2008).
 28. M. Varma and G. Madras, Synthesis of Biodiesel from Castor Oil and Linseed Oil in Supercritical Fluids, *Ind. Eng. Chem. Res.*, **46**, 1 (2007).
 29. M. Gorzawski and W.F. Hoelderich, Transesterification of Methyl Benzoate and Dimethyl Terephthalate with Ethylene Glycol over Superbases, *Appl. Catal. A*, **131**, 179 (1999).
 30. Hart's Global Biofuel Center, Global Biofuels Outlook 2010-2020, Houston, USA (2010).
 31. J.K. Kim, The Status of Sustainable Biofuels Policy and Development, *KIC News*, **16**, 1 (2013).
 32. J.K. Kim, E.S. Yim and C.S. Jung, Study on Comparison of Global Biofuels Mandates Policy in Transport Sector, *New & Renewable Energy*, **7**, 18 (2011).
 33. J. Maeng, Korea's Largest Export Biodiesel, *Seoul Economics Newspaper*, (2009).