ISSN 1738-3935
New & Renewable Energy 2013. 3 Vol. 9, No. 1 http://dx.doi.org/10.7849/ksnre.2013.9.1.033

논문 5

[2013-03-BM-005]

바이오연료의 지속가능성 기준 적용 사례분석 고찰 연구

김재곤*, **, 임의순, 정충섭

Study on Review Sustainability Criteria and Key Approaches for Biofuel

Jae-Kon Kim*, **, Eui-Soon Yim and Choong-sub Jung

Abstract The objective of this paper is to provide a review on the latest development on the main initiative and approaches for the sustainability criteria for biofuels. A large number of national and international initiative lately experienced rapid development in the review of the biofuels targets announced in the European Union (EU), United States (US) and other countries worldwide. The global biofuel targets are likely to have a strong impact on land use and agricultural markets. Although biofuels production provides new options for using agricultural crops, there are environmental, social and economic concerns associated with biofuel production. The diversity of feedstock, large number of biofuels pathway an their complexity lead to a high uncertainty over the greenhouse gas (GHG) performances of biofuels, in terms of GHG emission reductions compared to the fossil fuels, expecially if land use change is involved. This paper describes an overview of current status of ongoing certification initiative in Europe and worldwide for biofuels sustainability. It also provides mandatory requirements as part of an sustainability scheme in EU, United Kingdom, US and international approaches and should be reviewed to introduce based on global trends in Korea.

Key words Biofuel(바이오연료), Sustainability Criteria(지속가능성 기준), Bioenergy(바이오에너지), Energy Policy(에너지 정책), Renewable Fuel Standard(바이오연료 혼합의무제도), Greenhouse gas(온실가스)

(접수일 2013. 1. 20, 수정일 2013. 2. 26, 게재확정일 2013. 2. 26)

*, ** 한국석유관리원 석유기술연구소 책임연구원 (Korea Petroleum Quality & Distribution Authority (KPetro))
■ E-mail : jkkim@kpetro.or.kr ■ Tel : (043)240-7932 ■ Fax : (043)240-7949

Subscript

ABNT : associação brasileira de normas técnicas
CARB : california air resources board
C&S : carbon & sustainability
CEN : comité européen de normalisation
DIN : deutsches institut für normung
ETBE : ethyl tert-butyl ether
EPA : environmental protection agency
EU : european union
GBEP: global bioenergy partnership
GHG : greenhouse gas
RFS : renewable fuel standard
LCFS : low carbon fuel standard

LCA : life cycle assessment
IPCC : intergovernmental panel on climate change
ISO : international organization for standardization
RED : renewable energy directive
RIN : renewable identification number
RFA : renewable fuel agency
RTFO : renewable transport fuel obligation

1. 서 론

전 세계적으로 석유자원 고갈에 따른 에너지원 다양화와 기후변화 대응을 위한 저탄소 에너지 정책이 중시되고 있는 현실이다. 이러한 저탄소 에너지 정책으로 수송부문에서의 바이오연료는 각국의 보조금 정책지원과 에너지 가격의 변화 등으로 인하여 지속적으로 생산량이 증가하여 지난 20년 동안 4배 증가하였다[1]. 또한, 화석연료 기반의 자동차 기술은 저탄소연료(low carbon fuel) 정책에 따른 바이오연료 사용과 전기자동차로의 기술개발로 날로 진보하고 있다 (Fig. 1)[2].

바이오연료는 주로 유럽, 미국, 브라질 등을 중심으로 생산 및 보급이 이루어지고 있으며, 최근에는 상대적으로 보급이 뒤쳐진 아시아 각국들도 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[3,4]. 2009년 바이오에탄올은 미국, 브라질을 중심으로 40개국 이상에서 약 200억 갤런이 생산되었다[5]. 그 밖에 중국(5.4억 갤런), 태국(4.4억 갤런), 캐나다(2.9억 갤런), 인도(9억 갤런), 콜롬비아(8억 갤런), 기타(2.5억 갤런) 순이다. 또한 2009년 세계 바이오디젤 생산량은 51억 갤런이며, 유럽연합(EU)이 80%를 차지하고 있다[5]. 미국의 2008년 바이오디젤 생산량은 6.5억 갤런에 그치고 있다[7].

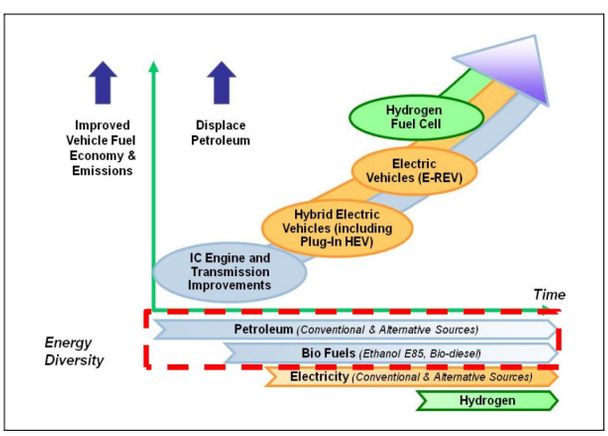

Fig. 1 Status of fuel and vehicle technology[2]

이러한 바이오연료의 지속적인 생산량 증가는 각국에서 수송부문의 규제적 정책인 바이오연료 혼합의무제도를 도입하여 바이오연료 사용을 확대하고 있기 때문이다[8,9]. 즉, 바이오연료 혼합의무제도는 바이오연료의 혼합 비중을 획기적으로 확대하기 위한 방법으로 수송용 화석연료 공급사업자에게 일정량의 바이오연료를 의무적으로 혼합하도록 하는 제도이다. 국내 수송부문의 온실가스 배출량은 전체 518.4백만 tCO_2e 중 94.6백만 tCO_2e으로 18.2%를 차지하고 있는 상황에서 신·재생에너지 보급확대와 국가 온실가스 감축목표 달성을 위해 수송부문에서는 바이오연료의 자발적 보급에서 의무적 보급 정책인 바이오연료 혼합의무제도의 도입을 검토하고 있다[9].

하지만 현재 각국의 바이오연료 생산은 토지사용과 농업시장에 큰 영향을 줄 수 있다. 즉, 바이오연료의 생산을 위해 식량계 농업작물을 사용함으로 인해 환경적, 사회적 그리고 경제적 영향을 줄 수 밖에 없는 현실이다. 따라서, 수송부문의 온실가스 저감을 위한 수단인 바이오연료의 보급확대함으로서 바이오연료의 원료작물을 생산하기 위해 토지용도를 간접적으로 전환함에 따라 산림파괴 및 식량문제 유발 등의 문제점이 발생하고 있다. 최근에 바이오연료의 생산과 사용에 이러한 문제점이 제기됨에 따라 바이오연료의 지속가능성 기준(sustainability criteria) 필요성이 제기되어 유럽연합(EU), 유럽 각국 그리고 미국 등이 개발하여 도입하고 있는 실정이다[10~12].

따라서 본 연구에서는 해외 주요국의 바이오연료의 지속가능성 기준 도입현황을 살펴보고자 한다. 특히, 유럽연합(EU), 영국, 미국 그리고 국제기관의 도입 또는 검토 동향에 대한 고찰을 통하여 국내 도입 시 적용 방향성을 논하고자 한다.

2. 본 론

2.1 해외 바이오연료의 지속가능성 기준 도입개요

EU, 영국, 미국 및 국제 바이오에너지 협력체(Global Bio-energy Partnership, GBEP) 등은 향후 바이오연료에 대한 도입을 적정 수준으로 촉진하기 위해 국제적인 틀 속에서 바이오연료의 지속가능성에 착안한 기준을 설정하고 있다.

바이오연료에 대한 지속가능성 기준은 전주기분석(Life Cycle Assessment, LCA)[10]에 따라 평가한 온실가스 배출감축효과, 토지이용 변화에 관한 기준, 생물다양성 보전 및 식량과의 경쟁 등 사회적으로 미치는 영향에 관한 기준을 의미하고 있다. Table 1은 세계 국가별 바이오연료에 관한 입법과 정책에 대한 바이오연료의 지속가능성 기준 도입 현황을 나타내고 있다.

EU는 신·재생에너지 지령(Renewable Energy Directive 2009/28/EC, RED 2009/28/EC)[13]과 미국은 에너지자립·안전보장법(Energy Independence and Security Act 2007, EISA)[14]에 의거 하여 바이오연료에 대한 지속가능성 기준을 시행하고 있다. 또한 브라질은 국가 프로알콜 프로그램에 의거하여 법률로 제정하지 않고 자발적인 제도로 추진하고 있다. 그 밖의 국가에서는 자국의 실정에 맞게 기준을 설정 중에 있거나 도입을 위해 검토하고 있는 실정이다.

2.2 해외 각국의 지속가능성 기준 개발 현황

2.2.1 EU의 지속가능성 기준 현황

2009년 6월에 발효된 EU의 신·재생에너지 지령(RED 2009/28/EC)에서는 2010년까지 수송연료의 5.75%, 2020년까지 10%를 바이오연료로 대체해 나간다는 목표를 세우고, 해당 목표달성에 사용할 수 있는 바이오연료의 지속가능성 기준에 대하여 규정하고 있다. EU에서 마련된 지속가능성 기준은 전 세계적으로 모범적인 사례로 평가 받고 있으며, 이에 대한 자문을 각국에서 요청하고 있는 실정이다.

Table 2에서 보는 바와 같이 EU의 지속가능성 기준은 온실가스 감축수준을 35%이상(2017년부터는 50%이상)으로 하며, 원칙적으로 생물다양성(biodiversity)과 탄소축적(carbon stock)이 높은 토지에서 바이오연료의 원료를 생산하지 않을

Table 1. The global status of sustainability criteria for biofuel[12]

지역/나라	바이오연료 입법/정책	지속가능성 기준 정책적용 여부
유럽연합	· 신·재생에너지 지령 2009/28/EC	· 적용
미국	· 에너지 자립 및 안전보장법(2007) · 신·재생연료 혼합의무제도(RFS)	· 적용
브라질	· 국가 프로알콜 프로그램	· 법률 미제정 – 자발적인 제도
컬럼비아	· 지속가능한 바이오연료 생산 증진을 위한 정책 권고 중	· 2008년 3월 승인, 지속가능성은 논의 중
호주	· 남쪽 웨일스 바이오 연료법(2007)과 바이오연료개정 규정 2009	· 적용 – 현재 지속가능한 바이오연료 원탁회의 원리 및 기준을 기초로 함
중국	· 농업 바이오연료 산업계획(2007–2015)	· 적용 – 바이오연료 생산을 위한 토지 이용정책
인도	· 바이오연료의 국가정책	· 미적용 – 유일한 기준이 토지이용의 형태
말레이시아	· 바이오연료 산업법 2007	· 미적용 – 국가의 바이오디젤 의무화 추진 중 2007년 8월, 농원부는 산업과 상품에 대한 지속가능성 지침과 실행안을 시작
	· 토지매입법 1960 · 토지보존법 1960(1989년 개정)	· 팜유 산업의 지속가능한 발전
뉴질랜드	· 지속가능한 바이오연료 법률마련(2009 7월부터 열람)	· 제안된 법률은 2010년 5월 1일부터 뉴질랜드에서 공급되는 바이오연료 또는 판매되는 바이오연료는 지속가능성 기준에 적용
필리핀	· 2006년 바이오 연료법(국가법률 9637)	· 미적용 – 바이오연료 원료생산과 바이오연료 혼합연료유 생산, 유통과 판매 등에 관한 기준을 다양한 정부기관들에 의해 협정됨.
일본	· 에너지 공급 구조 고도화법	· 적용 – 현재 바이오연료 도입 관련 지속가능성 기준 등 에 관한 검토회에서 논의를 통해 적용 중

Table 2. The summary of sustainability criteria for biofuel in EU[15]

지속가능성 기준	각 기준에 대한 대응	주요내용
온실가스 감축	EU 회원국 기준	· 온실가스 감축률 35% 이상 · 2017년부터 50% 이상(2017년 이후 신규 플랜트는 60% 이상)
환경영향	EU 회원국 기준	· 생물다양성이 높은 토지(탄소축적이 높은 토지의 원료생산 금지) · EU 역내에서 생산 시 기존의 EU 농업환경 지침 준수
사회영향	EU 집행위원회 분석	· 유럽위원회가 사회적인 지속가능성·식량과의 경쟁에 대해 2년마다 보고서 제출
간접영향	EU 집행위원회 분석	· 유럽위원회가 매년 간접적인 배출에 대한 보고서 제출

것을 제시하고 있다. 게다가 유럽연합 집행위원회가 2년마다 바이오연료에 대한 원료의 수요증가가 식량가격에 미치는 영향 및 원료생산지에서의 토지이용 및 노동자 권리에 미치는 사회영향에 대해 조사하고, 유럽연합 의회와 유럽연합 이사회에 보고하도록 되어 있다[15].

또한 2009년 9월에 발효된 EU의 연료품질지침(Fuel Quality Directive 2009/30/EC)[10] 개정에서도 연료 공급사업자에게 공급연료의 전주기분석(LCA)을 통해 탄소배출량을 2020년에 6% 감축하도록 의무를 부과하였다. 이와 관련하여 지속가능성 기준을 충족하지 못한 바이오연료의 온실가스 감축효과는 산정하는데 포함시키지 않고 있다. 바이오연료의 도입목표와 관련하여 식량과 경쟁하지 않는 바이오연료를 우대하고 있다. 신·재생에너지를 이용하여 생산된 전력을 포함한다는 조치를 시행하게 되었으며, EU집행위원회가 제시한 대략적인 차세대 바이오연료 및 전력·수소에 대한 목표설정 안건은 채택되지 않았지만 대신에 '2배로 계산(count)'한다는 혜택을 설정하였다. EU의 지속가능성 기준의 운용은 EU각국이 담당기관을 설치하여 EU의 지속가능성 기준에 충족하고 인증된 바이오연료만이 EU 각국의 목표 달성치로 인정하고 있다[11].

2.2.2 영국의 지속가능성 기준 현황

영국은 수송용 바이오연료 혼합의무화 제도(Renewable Transport Fuel Obligation, RTFO)[16,17]를 2008년 4월부터 수송용 화석연료 공급사업자에게 적용하여 바이오연료 도입을 의무화하여 운용하기 시작하였다. RTFO 제도는 공급사업자에게 연료의 일정 비율을 바이오연료로 조달하는 것을 의무화하는 것이며, 이 제도의 일환으로 사업자에게 공급한 바이오연료뿐만 아니라 해당 원료 및 온실가스 배출량 등에 대한 정보도 보고하도록 하는 '탄소·지속가능성(Carbon and Sustainability, C&S) 보고제도'[18]를 도입하고 있다. 영국의 바이오연료에 대한 지속가능성 기준은 국가 지표로써 목표수치를 설정하고 있는데 개별 사업자가 실시해야 하는 의무목표는 부과하지 않고 있다. 영국의 바이오연료에 대한 지속가능성 기준은 온실가스 감축, 환경영향, 노동·식량가격 관련 사회영향 그리고 간접영향에 대한 기준을 설정하여 시행하고 있다(Table 3).

Table 3. The summary of sustainability criteria for biofuel in UK[17]

지속가능성 기준	각 기준에 대한 대응	주요내용
온실가스 감축	사업자에 대한 자율기준	· 탄소축적(stock)의 손실방지
	국가 전체 목표	· '08~'09 : 40% · '09~'10 : 45% · '10~'11 : 50%
환경영향	사업자에 대한 자율기준	· 생물다양성 손실, 토양침식, 수자원오염/고갈, 대기오염 방지
	국가 전체 목표	· '08~'09 적합원료 30% 이상 · '09~'10 적합원료 50% 이상 · '10~'11 적합원료 80% 이상
사회영향 (노동 등)	사업자에 대한 자율기준	· 노동·권리노동관계, 토지 소유지역 사회관계에서의 악영향 방지
사회영향 (식량가격)	신재생연료청 (RFA)[1]에서 분석	· 신재생연료청(RFA)이 별도의 모니터링·분석 실시
간접영향		

1) 신재생연료청(Renewable Fuel Agency, RFA)는 영국 도로부(Department of Transport)로 흡수 통합되어 2012년 도로부에서 관리

Table 4에서 보는 바와 같이 온실가스 배출과 관련해서는 국가목표로 2008/09년에 40%, 2009/10년에 45%, 2010/11년에 50% 감축한다는 목표를 세웠다. 영국 정부는 원칙적으로 환경기준을 충족하는 바이오연료의 비율을 국가수준으로 2008/09년에 30%, 2009/10년에 50%, 2010/11년에 80%로 높인다는 목표를 설정하였다. 또한 사업자는 탄소·지속가능성(C&S) 보고서에서, 각 연료에 대한 원료생산지 정보 및 온실가스 배출량, 기준적합상황에 대해 보고하도록 요구받았지만 현재로서 정보가 없는 부분에 대해서는 불확실로 기술하는 것이 허용된다. 정보 보고률은 '08/'09년까지 50%, '09/'10년에 70%, '10/'11년에 90%로 높여가는 목표를 설정하였다. 또한 식량가격에 미치는 영향 및 개별사업자의 범주를 넘어서

는 간접적인 영향과 관련해서는 동 제도의 운용기관인 바이오연료청(Renewable Fuel Agency, RFA)이 모니터링과 분석을 하고 있다.

한편, RTFO 제도에서는 온실가스 감축을 위한 기준으로 각 바이오연료에 대한 탄소강도(carbon intensity)와 탄소감축치를 제시하고 있으며, 이를 바탕으로 의무 이행당사자들이 사용하는 바이오연료에 대해 적용하고 있다(Table 5). 바이오연료 중 가장 낮은 저탄소연료인 바이오가스가 36g CO_2e/MJ로 가장 낮은 탄소강도값을 제시하고 있으며, 바이오디젤은 93g CO_2e/MJ 그리고 에탄올과 바이오ETBE은 동일한 115g CO_2e/MJ 탄소강도값을 가진다[18].

한편, 영국은 EU의 지속가능성 기준과는 별도로 환경, 사회기준에 대한 새로운 기준을 책정하지 않고, 기존의 농업 및 임업에 관한 기준을 지정하여 동 기준을 충족하는 것을 RTFO에서도 인정하는 meta-standard approach를 채택하여 시행하고 있다[10]. 이는 바이오연료 생산에 대한 간접적 영향에 대해서는 갤러거 리뷰(Gallagher Review)를 기초로 하고 있다. 이러한 meta-standard 갤러거 방법[19]은 환경적 지속가능성 기준, 사회적 지속가능성 기준 등을 주로 고려하고 있다. 즉, 환경적 지속가능성 기준은 생태계 보호, 탄소저장, 토양보전, 지속가능한 물이용, 대기의 질 등을 고려하고 있으며, 사회적 지속가능성 기준은 노동자의 권리, 토지이용 등 7개 분야도 고려하고 있다(Table 6).

RTFO 제도에서 연료 공급의무자는 다음의 3가지 방법 중 하나를 이용하여 지속가능성 기준에 대한 준수를 증명해야 한다. 첫째로, meta-standard 원칙의 7가지 분야의 환경·사회 기준을 준수해야 한다. 둘째로, meta-standard 원칙에 입각하여 인정되지는 않지만, 기존의 환경·사회기준을 준수한다. 하지만 이 경우 메타원칙과 해당 기준과의 차이를 보충하고 있다는 것을 제3자로부터 감사를 받아서 증명해야 한다. 셋째로, meta-standard 원칙을 준수하고, 준수하고 있다는 것을 제3자의 감사를 통해 증명해야 한다[10].

Table 4. The summary of sustainability criteria for biofuel in UK[17]

		국가목표 ('08/'09년)	국가목표 ('09/'10년)	국가목표 ('10/'11년)	실적 ('08년)
환경기준에 적합한 원료 비율		30%	50%	80%	20%
공급연료의 연간 온실가스 감축률		40%	45%	50%	47%
정보	보고률	50%	70%	90%	66%
	원료				97%
	원료의 원산국가				80%
	이전의 토지이용 형태				58%
	지속가능성 기준 달성				28%

Table 5. The carbon intensity and carbon saving of biofuels under the RTFO[18]

바이오연료	탄소강도(grams CO_2e/MJ)	탄소감축(%)
바이오에탄올	115	-36
바이오디젤	93	-8
바이오가스	36	58
바이오-ETBE	115	-36
순식물성유(PPO)	87	-1

Table 6. The environmental and social principal for biofuel production in UK[10]

환경적 원리
· 바이오매스 생산은 육상의 탄소축적을 피괴 하거나 피해를 주지 말 것
· 바이오매스 생산은 생물의 다양성이 높은 지역을 파괴하지 말 것
· 바이오매스 생산은 토양오염을 야기하지 말아야함
· 바이오매스 생산은 물의 오염을 야기 하지 말 것
· 바이오매스 생산은 대기 오염을 야기하지 말 것
사회적 원리
· 바이오매스 생산은 노동자의 권리와 노동관계에 부정적 영향을 주지 말 것
· 바이오매스 생산은 토지이용과 사회적 관계에 영향을 주지 말 것

2.2.3 미국의 지속가능성 기준 현황

미국은 최근에 에너지 자립 및 에너지안보법에 의해 RFS 2(Renewable Fuel Standard, RFS) 프로그램이 발효되어 2022년까지 바이오연료를 연 360억 갤런을 사용하도록 요구하고 있다[20]. 또한 전주기분석(LCA)을 통한 온실가스 감축량이 기준 이상인 바이오연료만을 2010년 이후의 RFS 2 프로그램의 대상으로 한다는 것을 2007년 에너지자립·안전보장법으로 규정하고 있다. RFS 2 제도에서는 바이오연료를 20% 이상 감축효과가 있는 것(선진형 바이오연료는 50~60% 이상 감축)으로 정의하고 있다(Table 7). 이러한 기준을 충족하지 못하는 바이오연료는 제조하더라도 RFS 2제도에서 효력을 지니는 바이오연료 제조고유번호(Renewable Idenfication Number, RIN)가 발행되지 않고 있다[9].

Table 7. The summary of sustainability criteria for biofuel in US[21]

지속가능성 기준	각 기준에 대한 대응	주요내용
온실가스 감축	사업자에 대한 강제기준	· 재생가능연료 : 20% 이상(옥수수 기반 바이오에탄올) · 개량 바이오연료는 50% 이상(비옥수수 전분질계 기반 바이오 에탄올, 바이오부탄올) · 셀룰로스계 바이오연료 : 60% 이상(셀룰로스, 리그닌 기반) · 바이오매스 기반 바이오연료 : 50% 이상

현재, RFS 2 프로그램의 관리감독기관인 환경청에서 온실가스의 산정방법과 산정값을 논의 및 설정을 하고 있으며, 유럽에서 논의하고 있는 바와 특별히 다른 점은 다음 2가지이다. 첫 번째는 원료·제조공정별 온실가스 감축량을 일률적으로 평가한다는 방침이며, 이로써 바이오연료 제조사업자가 원료재배상황을 상세하게 확인할 필요가 없는데다, 온실가스 배출이 적은 방법으로 재배된 원료를 조달하는 경우에 대한 인센티브가 작용하지 않는다. 두 번째는 간접토지이용 변화로 인해 발생하는 온실가스 배출량도 평가에 포함한다는 방침이며, 바이오연료 원료제조가 유발하는 간접 토지이용 변화 정도는 토지이용변화 모델 시뮬레이션에 따라 계산된다. 따라서 RFS 2 프로그램에서 전주기분석에 의한 온실가스 산정은 바이오연료의 원료운반과 생산에 관한 모든 과정을 포함 하고 있다. 즉, 용지사용전환, 생산, 유통, 혼합 그리고 연료사용까지를 포함하는 것이다[9].

한편, 미국 캘리포니아주 대기자원위원회(California Air Resources Board, CARB)는 주정부 수준의 바이오연료를 포함한 대체연료 사용을 증대하여 온실가스를 감축하는 저탄소 연료 제도(Low Carbon Fuel Standard, LCFS)를 도입하고 있다[22]. 즉, 온실가스를 감축하기 위해 바이오연료를 사용하여 2020년까지 화석연료의 탄소강도(cabon intensity)를 10%(전주기분석)까지 줄이는 제도이다. 이러한 목표를 달성하기 위한 주요한 대체연료로서 바이오연료는 주로 에탄올, 바이오디젤, 신재생디젤 그리고 바이오메탄 등이 해당된다.

2.2.4 국제기관의 지속가능성 기준 검토 현황

국제 바이오에너지 협력체(GBEP)는 의사 결정을 하는 '운영위원회' 산하에 '전문가회의' 등, 2007년에는 온실가방법론 태스크포스, 2008년에는 지속가능성 태스크포스를 설치하여 바이오연료의 지속가능성 기준에 관한 검토를 진행하고 있다[10]. 온실가스 방법론 태스크포스는 미국의 제안으로 바이오매스의 라이프사이클 온실가스 배출을 평가하기 위해 통일된 방법론을 제시한다는 것을 목적으로 한다. Table 8에서 보는 바와 같이 이것은 방법론 자체를 통일하는 것이 아니라, 바이오매스 라이프사이클 온실가스 평가에 이용하는 방법론을 명시하기 위한 체크리스크이며, 다양한 라이프사이클 평가결과를 쉽게 비교하기 위한 것이다.

Table 8. The analysis methodology of GHG emission in GBEP[11]

서브그룹(Sub Group)		주도국가	주요항목
SG 1	토지이용변화와 바이오매스 원료생산	미국	· 토지이용변화 유무 · 바이오매스의 생산방법
SG 2	바이오매스 가공	EU	· 바이오매스의 유래 · 부산물 유무 · 바이오매스의 가공 유무
SG 3	연료수송, 이용	독일	· 바이오매스의 생산지로부터 수송 여부 · 바이오연료의 소비 유무 · 바이오연료의 소비 시 배출 온실가스 종류
SG 4	화석연료와 비교	브라질	· 대체되는 바이오연료의 비교 방법

Table 9. The summary of sustainability criteria in GBEP[11]

항 목	기 준
환경	1. 온실가스 배출량
	2. 토지생산력·생태계
	3. 토지이용변화(간접이용 포함)
	4. 대기의 질
	5. 물의 이용가능성, 이용효율, 질
	6. 생물다양성
경제	1. 자원이용 가능성
	2. 바이오에너지 생산 시의 자원이용효율
	3. 경제 진흥
	4. 바이오에너지의 경제적 실현가능성·경쟁력
	5. 기술에 대한 접근(access), 기술적인 능력
사회	1. 식량안전보장
	2. 토지, 물, 기타 자원에 대한 접근
	3. 노동 조건
	4. 지역사회 발전
	5. 에너지 입수(에너지에 대한 접근)
	6. 건강·안전
에너지 안전보장	1. 에너지 안전보장

GBEP의 지속가능성 기준 태스크포스는 영국이 제안한 것으로 바이오연료 지속가능성에 관하여 논의 하는데, 주로 바이오매스의 지속가능성 기준과 지표에 대하여 검토하였다(Table 9). 또한 GBEP가 정하는 이러한 기준과 지표는 자율적으로 적용한다는 점에 합의하고 있다. 각국이 제출한 기준안과 지표안을 기초로 1년에 가까운 논의를 하면서 여러 번 개정되었으며, 2009년 5월에는 일단 바이오매스의 지속가능성 기준에 대해 논의를 종료하였으며, 향후 2010년 수뇌회담을 목표로 기준 항목(basket)에 대응되는 3가지 서브그룹으로 나뉘어 지표를 검토하게 되었다[10].

한편, 국제표준화기구(International Organization for Standardization, ISO)에서도 2008년 1월 브라질의 표준화기관(Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT)와 독일 표준화기관(Deutsches Institut für Normung, DIN)이 공동 제안한 바이오연료 지속가능성을 각국의 투표로 채택 하여 ISO/TC248를 설치하였다[11]. ISO의 바이오에너지의 지속가능성 프로젝트위원회인 ISO/TC248은 바이오에너지의 생산, 공급체계, 이용의 지속가능성 기준 분야에서의 표준화, 바이오에너지의 지속가능성(환경, 사회, 경제 등)에 관한 용어와 해석을 포함한 논의를 진행 중에 있다. 또한, 유럽표준화위원회(CEN)에서는 네덜란드의 제안에 따라 유럽 통일 규격화를 위한 기술위원회(CEN/TC 383)를 2008년 2월에 설치하고 규격 원안에 대한 검토를 시작하였다. CEN/TC 383은 독일, 프랑스, 스웨덴, 영국이 주도하여 책정한 것으로 의장은 네덜란드가 담당하고 있으며, CEN/TC 383에서는 환경지속성 기준 요건에 적합한 규격 책정과 인증기법의 표준화를 목적으로 6개의 작업반(Working Group)를 설치하고 있다(Table 10).

Table 10. The working group for sustainability criteria in CEN/TC[10]

작업그룹	내용
WG 1	전문용어 및 각 작업그룹 공통 과제
WG 2	온실가스/화석연료의 비용편익과 계산방법
WG 3	생물다양성과 환경영향에 관한 과제
WG 4	경제와 사회에 미치는 영향
WG 5	검증 및 심사
WG 6	간접적인 영향

2.3 지속가능성 기준을 위한 온실가스 배출량 평가

2.3.1 온실가스 배출량 산정

바이오연료의 지속가능성 기준 설정을 위한 온실가스 배출량 평가는 EU 지침과 영국의 RTFO 제도 내용이 국제적으로 인정받고 있다. EU 지침 등에서 온실가스 배출량을 산정 시 배출량에 포함되는 온실가스는 CO_2, CH_4, N_2O로 한정하고 있으며, N_2O, CH_4의 온난화계수를 각각 296, 23으로 설정하고 있다. 영국의 RTFO제도에서는 HFCs, PFCs, SF_6를 바이오연료 생산체인과는 관련이 적기 때문에 제외하고 있다. 또한 기후 변화에 관한 정부간 패널(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)의 2001년 가이드라인에서는 N_2O, CH_4의 온난화계수를 296, 23으로 수정하였고, 교토의정서 상에는 1996년 가이드라인에 따라 310, 21이 적용되고 있다[10].

EU의 RED 2009/28/EC의 Article 17에서는 바이오전주기 온실가스 배출량 계산식을 식 (1)과 같이 산정하는 것으로 정하고 있으며, ETBE(Ethyl tert-butyl ether)를 이용하는 경우에도 ETBE 합성공정에서의 온실가스 배출에 대한 산정은 포함시키지 않고 있다. 정해진 방법론에 따라 실제 배출량을 산정하고, 디폴트 값(default values)을 사용하는 것도 가능하다. 여기서 default values란 온실가스 감축 기준을 이행하는 증거로 제공할 수 있는 경제적 환산치(economic operators)를 말한다. 디폴트값을 설정하는 목적은 바이오연료의 전주기 온실가스 배출량 산정 시에 사업자의 부담을 경감시키기 위해 설정하고 있다. 이용 가능성이 있는 원료, 생산 공정, 수송 등이 다른 개별 바이오연료마다 사업자가 수용 가능한 감축수준을 정부가 디폴트값[10]으로 정하고 있다.

$$E = e_l + e_{ec} + e_p + e_{td} + e_u - e_{ccs} - e_{ccr} - e_{ee} \quad (1)$$

- E 연료이용에서 유래하는 총배출량(gCO_2eq/MJ)
- e_l 직접적인 토지이용 변화로 인한 탄소축적(stock) 변동에 따른 배출량
- e_{ec} 원료의 재와 원료채취에 따른 배출량
- e_p 연료제조에 따른 배출량
- e_{td} 수송과 유통에 따른 배출량
- e_u 연료 사용에 따른 배출량(바이오연료 0)
- e_{ccs} 탄소회수와 탄소분리로 인한 배출 감축량

e_{ccr} 탄소회와 탄소치환으로 인한 배출 감축량

e_{ee} Co-generation의 잉여 전력으로 인한 배출 감축량

2.3.2 영국의 온실가스에 관한 지속가능성 기준 운용

Fig. 2에서 영국의 RTFO 제도도 원칙적으로 직접적인 토지이용변화, 원료재배, 원료수집, 연료제조, 연료유통의 각 공정에서 배출되는 온실가스를 대상으로 하고 있다[11].

영국의 RTFO 제도 하에서는 사업자에게 매월 제출하도록 의무화하고 있는 탄소·지속가능성 보고서(C&S report)에서, 공급한 바이오연료의 토지이용변화를 포함하여 배출원 단위(gCO_2e/MJ) 등을 보고하도록 의무화하였다. 즉, 바이오연료에 대한 지속가능성기준을 실제로 운용하는 RTFO 제도에서는 바이오연료 공급 의무대상자가 탄소·지속가능성 보고를 통해 연료에 대한 일반정보와 지속가능성 정보 그리고 탄소정보까지 상세히 보고하도록 하고 있다(Table 11).

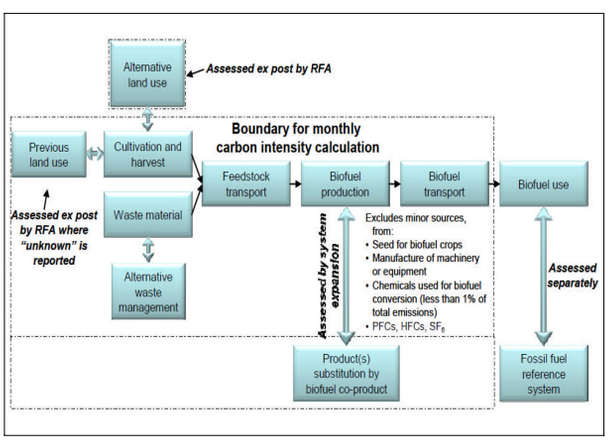

Fig. 2 The boundary for calculation of GHG emission under RTFO[17]

Table 11. The example of C&S report under RTFO[9]

General Information						Sustainability Information				Carbon Information	
Batch number	Internal Batch number (optional)	Fuel type	Quantity of fuel (litres)	Biofuel Feedstock	Feedstock Origin	Standard	Env Level	Social Level	Land use on 30 Nov 2005	Carbon intensity g CO_2e / MJ	Accuracy level
33001		Bioethanol	250,000	Wheat	UK	LEAF	QS	-	Cropland	61	2
33002		Bioethanol	100,000	Wheat	France	GlobalGAP	-	-	Grassland	157	2
33003		Bioethanol	250,000	Sugar beet	UK	ACCS	RTFO	-	Cropland	35	5
33004		Bioethanol	1,000,000	Sugar cane	Brazil	Meta-Standard	RTFO	RTFO	Cropland	25	2
33005		Bioethanol	500,000	Unknown	Unknown	Unknown	-	-	Unknown	115	0
33006		Biodiesel	1,000,000	Oilseed rape	UK	ACCS	RTFO	RTFO	Cropland	55	2
33007		Biodiesel	250,000	Oilseed rape	Unknown	Unknown	-	-	Unknown	93	2
33008		Biodiesel	500,000	Palm oil	Malaysia	RSPO	QS	QS	Cropland	47	2
33009		Biodiesel	500,000	Soy	Argentina	Basel	QS	QS	Grassland	166	2
33010		Biodiesel	250,000	UCO	UK	By-product	QS	QS	By-product	13	2
33011		Biogas	150,000	Dry manure	UK	By-product	QS	QS	By-product	36	2

QS = Qualifying Standard; RTFO = RTFO Meta-standard

2.4 지속가능성 기준을 위한 인증체계

2.4.1 EU의 지속가능성 기준 인증 방향성

EU에서 생산되거나 수입되어 사용되는 바이오연료에 대한 국가적인 신·재생에너지의 목표 달성을 위해 지속가능성 기준을 준수해야한다. 이러한 지속가능성 기준은 바이오연료의 원료생산을 위해 높은 생물다양성과 높은 탄소축적의 지역을 개발하는 것을 방지하고 있다. 전체적인 바이오연료의 생산과 공급체계는 지속가능해야한다. 이를 달성하기위해 바이오연료의 지속가능성은 유럽연합 집행위원회가 승인한 7개의 인증체계(ISCC, RTRS EU RED, Bonsucro EU, RSB EU RED, 2BSvs, Greenergy, RSBA)[12]를 검토하거나 각국에 별도로 검토해야 한다고 권고하고 있다(Table 12).

2.4.2 영국의 지속가능성 기준 인증 방향성

영국의 RTFO 제도에서는 바이오연료에 대한 지속가능성 보고에 품질기준(Qualifying Standard)을 Table 13과 같이 환경적 개선 기준에 대한 인증체계를 두고 있다. 환경적 개선 기준에 대한 인증체계는 ACCS, Basel, FSC, Genesis QA, LEAF, RSPO, RTRS, SAN/RA 등이 있으며, 사회적 개선 기준에 대한 인증체계는 Basel, RSPO, RTRS, SAN/RA 등을 도입하고 있다[12].

Table 12. The voluntary certification schemes for biofuel in EU[11]

약어	정식명칭
ISCC	International Sustainability and Carbon Certification
RTRS EU RED	Round Table on Responsible Soy EU RED
Bonsucro EU	Roundtable initiative for sugarcane based biofuels, focus on Brazil
RSB EU RED	Roundtable initiative covering all types of biofuels
2BSvs	French industry scheme covering all types of biofuels
Greenergy	Industry scheme for Greenergy covering sugar cane ethanol from Brazil
RSBA	Industry scheme for Abengoa covering their supply chain

Table 13. The certification schemes for biofuel under RTFO[9]

환경적 개선 인증체계 기준	
ACCS	Assured Combinable Crop Scheme
Basel	Basel Criteria for Soy
FSC	Forest Stewardship Council
Genesis QA	Genesis Quality Assurance
LEAF	Linking Environment and Farming
RSPO	Roundtable on Sustainable Palm Oil
RTRS	Round Table on Responsible Soy
SAN/RA	Sustainable Agriculture Network/Rainforest Alliance
사회적 개선 인증체계 기준	
Basel	Basel Criteria for Soy
RSPO	Roundtable on Sustainable Palm Oil
RTRS	Round Table on Responsible Soy
SAN/RA	Sustainable Agriculture Network/Rainforest Alliance

2.5 국내 바이오연료의 지속가능성 기준 검토 방향성

세계 각국은 현재 경제성 관점이 아닌 중·장기적 시각에서 자국의 온실가스 감축, 농업산업발전 및 에너지원 다양화 등의 목적으로 바이오연료를 보급·확대해 가고 있다. 최근 우리 정부의 녹색성장 기조에 부응하여 신·재생에너지 보급확대와 국가 온실가스 감축목표 달성을 위해 바이오연료 혼합의무제도(RFS)도입을 검토 중에 있다.

따라서 국내 바이오연료 혼합의무제도(RFS)도입과 동시에 최우선적으로 바이오연료의 전주기 분석(LCA)을 통하여 화석연료 대비 바이오연료의 온실가스 감축효과를 평가하여야 할 것이다. 국내 바이오연료의 도입에 따른 지속가능성 기준을 검토하기 위해서는 정부, 관련 전문가 및 관련사업자 등으로 구성된 작업그룹(WG, Working Group)을 설치하여 검토하여야 할 것이다. 작업그룹은 온실가스 배출량 평가 WG, 식량과의 경쟁평가 WG, 생물다양성 평가 WG, 경제성·공급안정성 평가 WG 등의 4개 검토분야를 설치하여 연구가 수반되어야 한다(Fig. 3).

온실가스 배출량 평가 WG에서는 바이오연료의 온실가스 배출 산정 전주기 분석 방법론과 배출량 산정 그리고 이를 통한 디폴트(표준값) 등을 검토하여야 할 것이다. 식량과의 경쟁평가 WG에서는 바이오연료와 식량경쟁에 대한 악영향을 막기 위한 대책에 대해 검토를 통하여 국내의 바이오연료 도입형태에 따른 대응전략을 검토 하여야 한다. 한편, 생물다양성 평가 WG에서는 바이오연료로 인한 원료산지의 생물다양성 문제와 노동, 토지소유 등에 대한 사회문제 악영향을 막기 위한 대책에 대해 검토가 이루어져야 한다. 마지막으로, 경제성·공급안정성 평가 WG에서는 다른 3개 작업그룹(WG)의 검토결과를 바탕으로 바이오연료의 경제성 평가, 공급안정성 평가 및 국내 도입 시나리오 관점에 대해 검토하여 중장기적인 바이오연료 도입 방향성을 설정하여야 할 것이다. 따라서, 작업그룹의 검토 연구결과를 토대로 국내 바이오연료의 혼합의무 기본방안과 지속가능성 기준제도화를 검토하여야 할 것이다.

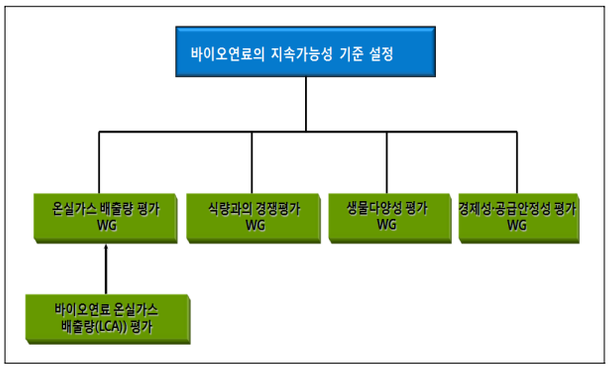

Fig. 3 The proposed study for introduction of sustainability criteria for biofuel

Table 14. The proposed study area of working group for introduction of sustainability criteria for biofuel

작업그룹(WG)	주요 작업내용
온실가스 배출량 평가 WG	· 온실가스 배출량 산정범위 설정 · 전주기 분석 방법론 설정 · 온실가스 배출량 설정 · 온실가스 배출량 표준값 설정 검토
식량과의 경합성 평가 WG	· 바이오연료와 식량과의 경쟁 검토 및 문제점 평가 · 각국 바이오연료와 식량과의 경쟁에 관한 대응 검토 · 국내 바이오연료 도입 형태에 따른 대응전략
생물다양성 평가 WG	· 바이오연료의 원료산지의 환경과 사회에 미치는 영향 평가 · 생물다양성에 대한 기준 책정 검토 · 해외 판단 기준 검토에 따른 국내 적용 기준 검토
경제성·공급안정성 평가 WG	· 바이오연료의 경제성과 공급안정성 고려 국내 도입 시나리오 검토 · 온실가스 감축수준, 식량과의 경쟁 방지 등에 적합한 바이오연료 공급량 검토 · 신재생연료의 공급안정성 확보 국내 대처 방안 및 2세대 기술개발 로드맵 작성

3. 결 론

본 연구에서는 유럽연합(EU), 영국, 미국 그리고 국제기관의 도입 또는 검토 동향을 비교분석하여 국내 도입 시 방향성을 고찰하였다.

수송부문의 온실가스 저감을 위한 수단으로 바이오연료의 보급확대를 목적으로 바이오연료의 원료작물 생산을 위해 토지용도를 간접적으로 전환함에 따라 산림파괴 및 식량문제 유발 등의 문제점이 발생하고 있다. 최근에 바이오연료의 생산과 사용에 이러한 문제점이 제기됨에 따라 바이오연료의 지속가능성 기준(sustainability criteria) 필요성이 제기되었다. 따라서 EU, 영국, 미국 및 국제기관 등은 국제적인 틀 속에서 향후 바이오연료에 대한 도입을 적정 수준으로 촉진해 나가기 위해 바이오매스와 바이오연료에 대한 지속가능성에 착안한 기준을 도입하거나 검토 중에 있는 실정이다. 전주기분석에 따라 평가한 온실가스 배출 감축효과, 토지이용변화에 관한 기준, 생물다양성 보전 및 식량과의 경쟁 등 사회적으로 미치는 영향에 관한 기준으로 설정하고 있다. 이러한 지속가능성 기준을 만족하는 바이오연료만이 바이오연료 혼합의무제도에서 의무량으로 인정하고 있다.

최근 우리 정부의 신·재생에너지 보급 증대와 국가 온실가스 감축 목표 등의 달성을 위해 국내 바이오연료 혼합의무제도 도입이 예상되고 있다. 향후 국내 바이오연료에 대한 도입을 적정 수준으로 촉진해 나가기 위해 바이오매스와 바이오연료에 대한 지속가능성에 착안한 기준을 도입할 필요가 있다. 이를 위해 최우선적으로 국내 바이오연료의 전주기 분석(LCA) 평가에 의한 온실가스 배출량 평가가 선행되어야 한다고 사료된다. 따라서, 국내 바이오연료의 도입에 따른 지속가능성 기준을 검토하기 위해서는 정부, 관련 전문가 및 관련사업자 등으로 구성된 작업그룹(WG, Working Group)의 연구결과를 토대로 국내 바이오연료의 혼합의무 기본방안과 지속가능성 기준제도화를 검토하여야 할 것이다.

후 기

본 연구는 2012년 지식경제부 에너지정보화 및 정책지원사업의 재원으로 한국에너지기술평가연구원의 지원받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다('신재생연료 혼합의무제도(RFS) 상세 운영방안 수립연구', No.2012T100100022).

References

[1] Earth Policy Institute. Biofuels data from world on the edge, 2012, http://www.earth-policy.org/data_center/C26
[2] Hart's Global Biofuel Center, 2010, "Fuel & Biofuel Quality Policies Global and Regional Insight", Houston, USA.
[3] IEA. 2009, "World Energy Outlook", International Energy Agency. OECD/Paris.
[4] Hart's Global Biofuel Center, 2010, "Global Biofuels Outlook 2010-2020, Houston, USA.
[5] RFA, 2010, Renewable Transport Fuel Obligation, <http://www.renewablefuelsa gency.gov.uk/aboutthertfo.cfm>.
[6] S. N. Naik, V. V. Goud, P. K. Rout, A. K. Dalai, 2010, "Production of first and second generation biofuels : A comprehensive review", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 14, pp. 578-597.
[7] Emerging Markets, 2008, "Biodiesel 2020 : Global Market Survey, Feedstock Trends and Market Forecasts, </http://www.emerging-markets.com/PDF/Biodiesel2020Study.pdfs>.
[8] 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), pp. 18-29.
[9] 지식경제부, 한국석유관리원, 2010, "신재생연료 혼합의무제도 도입방안 마련연구".
[10] 일본 경제산업성, 2010, バイオ燃料導入に係る持続可能\性基準等に関する検討会(中間とまとめ).
[11] N. Sarlat, J. -F. Dallemand, 2011, "Recent developments of biofuels/bioenergy sustainability certification: A global overview", Energy Policy, Vol. 39, pp. 1630-1646.
[12] Hart's Global Biofuel Center, 2010, "Global : Sustainability Criteria Initiatives", Houston, USA.
[13] http://ec.europa.eu/energy/renewables /targets_en.htm
[14] G.W, Bush, 2007, State of the Union Address. available from : www.whitehouse.gov/ stateof theunion/2007/; January 2007. Washington DC.
[15] http://ec.europa.eu/energy/renewables/biofuels/sustainability_scheme_en.htm
[16] E4Tech, 2006, "Methodology for carbon Reporting renew-

able transport fuel obligation (RTFO)", Commissioned by Low CVP.
[17] Ecofys, 2006, Sustainability reporting within the RTFO: Framework Report; Commissioned by the UK Department of Transport, 2006.
[18] Renewable Fuel Agency, 2009, "Carbon and Sustainability Reporting Within the Renewable Transport Fuel Obligation; Technical Guidance Part Two Carbon Reporting – Default Values and Fuel Chains", Commissioned by the UK Department of Transport, 2006.
[19] Renewable Fuel Agency, 2008, "The Gallagher Review of the indirect effects of biofuels production", RFA, St. Leonard-on-Sea.
[20] http://www.epa.gov/otaq/fuels/renewablefuels/index.htm
[21] http://www.epa.gov/otaq/fuels/renewablefuels/regulations.htm
[22] S. Yeh, D. Sperling, "Low carbon fuel standards: implementation scenarios and challenge", Energy policy, Vol. 38, pp. 6955-6965.

김 재 곤

2003년 부산대학교 화학과 이학박사
2004년 한국과학기술원 화학과 박사 후 연구원
2006년 University of Pittsburgh 화학과 박사 후 연구원

현재 한국석유관리원 석유기술연구소 책임연구원
(E-mail : jkkim@kpetro.or.kr)

정 충 섭

1988년 전남대학교 화학공학과 공학사
2000년 서울시립대학 화학공학과 공학석사
2007년 서울시립대학 환경공학과 공학박사

현재 한국석유관리원 석유기술연구소 연구소장
(E-mail : csjung@kpetro.or.kr)

임 의 순

1993년 충남대학교 화학과 이학사
1996년 충남대학교 화학과 이학석사
2009년 충남대학교 화학과 이학박사

현재 한국석유관리원 석유기술연구소 품질연구팀장
(E-mail : esyim@kpetro.or.kr)