

# 해외 주요국 수송용 바이오연료의 혼합의무 정책비교 분석 연구

김재곤\*, 임의순, 정충섭

## Study on Comparison of Global Biofuels Mandates Policy in Transport Sector

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

### Abstract

Biofuels are considered as an option to reduce greenhouse gases emission, increase energy supply diversity and security of supply, as well as an opportunity for job creation and rural development. First of all, biofuels technologies have been promoted as a means for reducing the carbon intensity of the transport sector. Hence, in the last decade biofuels production has been driven by governmental policies. The key instruments widely adopted to foster production and increase consumption have been mandatory blending targets, tax exemptions and subsidies. As one of the most powerful instruments, biofuel mandates require fuel producers to produce a pre-defined amount (or share) of biofuels and blend them with petroleum fuel. National biofuels mandates are in place 35 countries and partially in place in 6 countries. In this study, we reviewed status of global biofuels policies to reduce greenhouse gases in the European Union, United States and other countries worldwide. Especially, we discussed representative biofuels mandates policies same as Renewable Fuel Standard (RFS, US), Renewable Transport Fuels Obligation (RTFO, UK) in transport sector.

### Key words

Biofuel(바이오연료), Bioenergy(바이오에너지), Alternative Fuel(대체연료), Energy Policy(에너지 정책), Biofuel mandate(바이오연료 혼합의무), Sustainability Criteria(지속가능성 기준)

(접수일 2011. 11. 26, 수정일 2011. 12. 18, 게재확정일 2011. 12. 23)

\* 한국석유관리원 녹색기술연구소 선임연구원

■ E-mail : jkkim@kpetro.or.kr ■ Tel : (043)240-7919 ■ Fax : (043)240-7949

### Subscript

IEA : international energy agency

GHG : greenhouse gas

RFS : renewable fuel standard

LCFS : low carbon fuel standard

LCA : life cycle assessment

EPA : environmental protection agency

FAME : fatty acid methyl ester

F-T : fisher-tropsch

RVO : renewable volume obligation

RIN : renewable identification number

DOE : department of energy

EU : europe union

RO	: renewable obligation
RTFO	: renewable transport fuel obligation
RHP	: renewable heat program
RFA	: renewable fuel agency
HBD	: hydro-treated biodiesel
PPO	: pure plant oil
ETBE	: ethyl tert-butyl ester
C&S	: carbon & sustainability

## 1. 서론

전 세계적으로 수송부문은 현재 화석연료에 의해 96% 이상 의존하여 사용되고 있으며, 세계의 전체 온실가스 배출량 중 27%를 차지하고 있는 실정이다.<sup>(1)</sup> 최악의 지구 기후변화를 대응하기 위해서는 2050년 지구의 온실가스를 2005년 대비 적어도 50%까지 감축해야하는 실정에 있다. IEA 기준 시나리오(business-as-usual scenario)에 의하면 세계 수송용 에너지 사용과 온실가스 배출량은 2030년까지 50% 이상 증가하고, 2050년까지는 적어도 2배가 될 것으로 예측하고 있다.<sup>(1)</sup> 또한 IEA의 전망에 따르면 세계 석유수요에 있어서 계획된 전체 증가의 75%는 수송부문이 차지할 것으로 전망하고 있는 현실이다.<sup>(1)</sup>

전 세계적으로 석유자원 고갈에 따른 탈석유 대응 에너지원 다양화와 기후변화 대응을 위한 온실가스 저감을 위한 저탄소 에너지 정책이 중시되고 있는 현실이다. 이러한 저탄소 에너지 정책 중 수송부문에서는 바이오연료를 도입하고 있다. 바이오매스로부터 생산되는 바이오연료는 다른 신·재생 에너지의 적용이 불가능한 수송부문에서 직접 적용이 가능하여 석유 에너지의 직접 대체 효과가 높다는 장점이 있다. 이러한 석유대체 가능한 바이오연료에는 바이오디젤, 에탄올, 바이오가스 등이 있으며, 현재 전 세계적으로 상용화되어 사용되어지고 있다.<sup>(2)-(3)</sup>

따라서 국제사회는 온실가스 감축을 위한 수단으로 수송부문에서 규제적 정책인 바이오연료 혼합의무제도를 도입하여 바이오연료 사용을 확대하고 있는 추세에 있다.<sup>(4)</sup> 바이오연료 의무혼합제도란, 수송부문에서 바이오연료의 혼합 비중을 획기적으로 확대하기 위해서는 수송용 화석연료 공급사업자에게 바이오연료를 의무적으로 혼합하는 제도이다.<sup>(5)</sup> 물론

수송부문의 연료정책은 온실가스 저감수단으로 세계 자동차 업계에서 개발하고 있는 전기자동차가 크게 기여할 수 있을 것으로 전망되지만 본격적인 상용화까지는 다소 시간이 필요할 것으로 판단된다. 수송부문의 온실가스 저감을 위한 수단으로 바이오연료의 보급 및 확대를 위한 바이오연료의 원료 작물 생산을 위해 토지용도를 간접적으로 전환함에 따라 산림파괴 및 식량문제 유발 등의 문제점이 발생함으로써 바이오연료의 지속가능성 기준(sustainability criteria) 필요성이 제기되어 세계 각 국은 도입 또는 검토 중에 있기도 하다.<sup>(6)</sup>

본 연구에서는 수송부문에서 저탄소 연료 정책으로 온실가스 저감에 기여할 수 있는 바이오연료에 대한 해외 보급현황과 보급정책을 알아보려고 한다. 특히, 수송용 바이오연료의 혼합의무 시스템과 보급정책을 모범적으로 운영하고 있는 대표적인 국가인 미국과 영국을 중심으로 비교·분석하고자 한다.

## 2. 본론

### 2.1 해외 수송용 바이오연료의 보급현황과 보급정책

#### 2.1.1 해외 수송용 바이오연료의 보급현황

세계 각 국은 고유가, 에너지 안보에 대한 관심사의 증대, 대기질 문제 그리고 기후변화 대응을 위한 온실가스(GHG) 감축 등의 수단으로 수송부문에서 대체연료로서 바이오디젤, 에탄올 등의 바이오연료를 도입하여 사용하고 있다. 이러한 바이오연료의 생산량은 최근에 세계 각국에서 보조금과 정책적 지원에 의해 지속적으로 증가하고 있는 실정이다.<sup>(7)</sup>

바이오연료는 주로 유럽, 미국, 브라질 등을 중심으로 생산 및 보급이 이루어지고 있으며, 최근에는 상대적으로 보급이 뒤쳐진 아시아 여러나라에서 자국이 가진 식물 원료를 기반으로 한 바이오연료의 생산 및 보급을 시작하고 있는 실정이다. 최근까지 바이오연료는 세계 수송용 연료 소비의 약 1.8%를 차지하고 있으며, 전 세계 바이오연료 생산량 중 에탄올이 약 80%, 바이오디젤은 20% 차지하고 있다.<sup>(7)</sup> 2009년 에탄올은 40개국 이상에서 약 200억 갤론을 생산하였다.<sup>(8)</sup> 특히, 미국과 브라질은 각각 106억 갤론, 66억 갤론으로 전체 86%를 차지하고 있다. 그 밖에 중국(5.4억 갤런), 태국(4.4

억 갤런), 캐나다(2.9억 갤런), 인도(9억 갤런), 콜롬비아(8억 갤런), 기타(2.5억 갤런) 순이다.<sup>(8)</sup> 또한 2009년 세계 바이오디젤 생산량은 51억 갤런이며, 유럽연합(EU)이 80%를 차지하고 있다. 미국의 2008년 바이오디젤 생산량은 650 백만 갤런으로 보고되었다.<sup>(9)</sup>

Table 1과 Table 2는 세계 각국의 에탄올과 바이오디젤의 혼합비율을 보여주고 있다. 2010년 기준으로 에탄올은 북미

Table 1. The Global status of bioethanol blending ratio<sup>(6)</sup>

구 분	국가	혼합비율(%)		시행연도
북미주	미국	하와이	E10 <sup>1)</sup>	2008
		미네소타	E20 <sup>2)</sup>	2013
		캘리포니아	E10	2009
		미췌리	E10	2008
		워싱턴	E2	2008
		오레곤	E10	2008
		로스엔젤로스	E2	2015
		플로리다	E10	2010
	캐나다	전체	E5	2010
		퀘벡	E5	2012
온타리오		E10	2010	
남미주	브라질	전체	E25	2002
	아르헨티나	E5	2010	
	콜롬비아	E10	2006	
	코스타리카	E7	2010	
		E10	2011	
	에콰도르	E10	2008	
	파라과이	전체	E18~E25	1997
	페루	E7,8	2010	
	우루과이	E5	2014	
	유럽	독일	E2,8(최소)	2010
프랑스		E7	2010	
오스트리아		E3,4	2010	
루마니아		E4	2010	
스페인		E3,9(최소)	2010	
노르웨이		E3,5	2010	
네덜란드		E3,5	2010	
헝가리		E4,4	2010	
아시아	필리핀	E10	2011	
	중국	E10(9성)	2010	
	인도	E10	2008	
	태국	E10	2007	

<sup>1)</sup> E = bioethanol

<sup>2)</sup> E20 = bioethanol(20%) + 휘발유(80%) 혼합

주과 남미주 등을 위주로 E2 ~ E25 수준으로 혼합 하여 보급 중에 있다. 또한 바이오디젤은 주로 유럽을 위주로 B2 ~ B15 수준으로 혼합하여 보급 중에 있다.<sup>(6)</sup>

Table 2. The global status of biodiesel blending ratio<sup>(6)</sup>

구 분	국가	혼합비율(%)		시행연도	
북미주	미국	미네소타	B5 <sup>1)</sup>	2009	
			B10	2012	
		매사추세츠	B2 <sup>2)</sup>	2010	
		뉴멕시코	B5	2012	
		워싱턴	B2	2008	
		펜실베이니아	B2	2010	
	캐나다	전체	B2	2010	
		브리티쉬 콜롬비아	B5	2012	
	남미주	브라질	전체	B3	2008
			전체	B5	2013
아르헨티나		B5	2010		
콜롬비아		B7, B10(대도시)	2010		
		B20	2012		
코스타리카		B10	2009		
		B15	2010		
에콰도르		B2	2009		
		B5	2011		
파라과이		B3	2008		
	B5	2009			
페루	B5	2010			
우루과이	B2	2010			
	B5	2012			
유럽	독일	B4,4(최소)	2010		
	프랑스	B7	2010		
	오스트리아	B6,3	2010		
	루마니아	B4	2010		
	스페인	B3,9(최소)	2010		
	노르웨이	B3,5	2010		
	네덜란드	B3,5	2010		
	헝가리	B4,4	2010		
아시아	필리핀	B2	2009		
	중국	B5(해남성)	2010		
		B1	2008		
		B2	2010		
	태국	B3	2010		
한국	B2	2011			

<sup>1)</sup> B = biodiesel

<sup>2)</sup> B2 = biodiesel(2%) + 경유(98%) 혼합

### 2.1.2 해외 수송용 바이오연료의 보급정책

2011년 10월 기준으로 국가차원의 바이오연료 혼합의무를 시행하는 나라는 35개국이며, 일부 도시나 주(state) 차원에서 시행하는 나라는 6개국이다. 또한 10년 이내에 바이오연료의 혼합의무를 계획 중인 나라도 26개국으로 파악되고 있다. Fig. 1은 전 세계 지역별로 바이오연료 혼합의무의 도입 현황을 나타내고 있다.<sup>(10)</sup> 북미대륙은 자국원료기반의 바이오연료를 가지고, 미국과 캐나다를 중심으로 신재생연료 혼합의무 프로그램(Renewable Fuel Standard(RFS))과 미국 캘리포니아 중심의 저탄소연료 프로그램(Low Carbon Fuel Standard(LCFS)) 등을 시행하고 있다. 남미대륙도 자국원료인 바이오연료를 기반으로 보급이 활성화되고 있다. 특히, 브라질은 수송부문에 바이오연료의 혼합을 전 세계적으로 가장 먼저 시행한 국가이다. 브라질의 바이오연료 보급정책의 핵심은 1977년부터 시행 중인 ‘국가 알코올(Pro-Alcohol) 프로그램’으로 자국의 사탕수수 원료기반 에탄올을 수송용 휘발유에 20%를 혼합의무하고 있다.<sup>(2)</sup> 한편, 에탄올 중심의 바이오연료 보급정책을 펴고 있는 북·남미 대륙과는 다르게 유럽 연합(EU) 27개국은 바이오디젤 기반의 수송용 바이오연료를 2009년 설정된 신·재생에너지 지령(2009/28/EC)에 따라 보급하고 있다. 특히, 영국과 독일은 수송부문의 온실가스 저감을 위한 정책으로 바이오연료 혼합의무제도를 도입하여 잘 시행하고 있다. 영국은 수송용 신재생연료 혼합의무제도인 Renewable Transport Fuel Obligation(RTFO)<sup>(5)</sup>을 도입하여 수송부문의 온실가스 저감을 위한 저탄소에너지 정책으로 시행하고 있다. 한편 독일은 바이오연료 할당법(Biofuel Quota Law)<sup>(5)</sup>을 도입하고 있는데, 수송용 화석연료인 휘발유와 경유 등에 바이오연료의 최소 쿼터(quota)를 부여하여

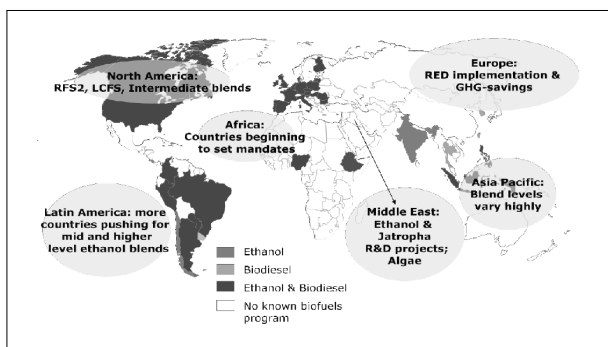


Fig. 1. Global biofuels mandates policy.<sup>(10)</sup>

혼합의무 중에 있다.

따라서 수송용 바이오연료의 혼합의무제도를 모범적으로 운영하고 있는 대표적인 국가인 미국과 영국을 중심으로 정책을 비교·분석하고자 한다.

## 2.2. 미국의 바이오연료 혼합의무 정책분석

### 2.2.1 미국의 바이오연료 보급 정책

미국의 수송용 연료 사용과 온실가스(GHG) 배출은 지속적으로 증가할 것으로 예측하고 있다. 연료사용은 2000년부터 2035년까지 19% 증가할 것으로 전망하고 있으며, 배출가스의 14%, 전주기 온실가스는 19%가 증가할 것으로 예측하고 있다(Fig. 2)<sup>(11)</sup> 이러한 수송부문의 연료사용 증가와 온실가스 감축을 위해 미국이 바이오연료 또는 대체연료를 도입하는 목적은 크게 에너지 안보 향상, 경제적 생산성 그리고 환경적 영향 등에 있다고 할 수 있다(Table 3).

미국의 국가적 수준의 바이오연료의 보급정책은 2005년 시행된 “에너지정책법 2005(Energy Policy Act(EPAct 2005))”이다. 140억 달러가 투입된 에너지정책법은 에너지 효율, 에너지관리, 에너지 인프라 현대화 및 바이오연료 등의 재생가

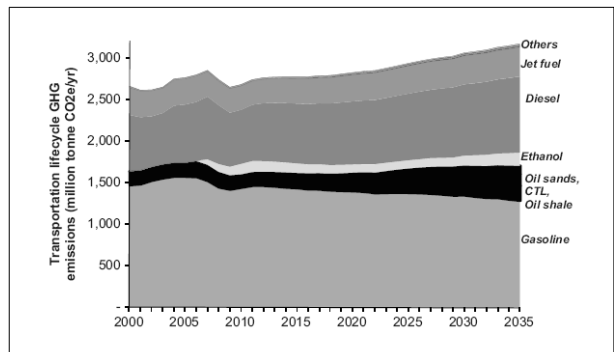


Fig. 2. Forecasted US transportation lifecycle emissions.<sup>(11)</sup>

Table 3. Potential benefits and challenges of biofuels

에너지 안보 향상	경제적 생산성	환경적 영향
· 에너지수급	· 가격 안정성	· 토지 및 물 사용
· 원료원 다양성	· 농촌 경제 증진	· 표준 대기오염
· 공급 신뢰성	· 무역적자 감소	· 온실가스
· 식육 감축	· 세계 경쟁성 확보	· 야생 서식지
		· 생물 다양성
		· 탄소 감축

능 대체연료(alternative fuel)와 전통적인 에너지원의 사용 증진 등을 위해 도입되었다.<sup>(6)</sup> 무엇보다도 이 법은 수송용 신재생연료, 특히 에탄올의 혼합의무를 부여하는 “신재생연료 혼합의무제도(Renewable Fuel Standard, RFS 1 program)”의 도입을 포함하고 있다. 즉, 2006년에 휘발유에 에탄올을 연 40억 갤런 혼합을 시작으로 2012년까지 연 75억 갤런을 혼합의무 하는 것이다. 또한 2007년 휘발유의 소비를 감축하고 바이오연료의 소비를 보다 적극적으로 증진하기 위한 정책인 “20-in-10 계획”을 발표하였다.<sup>(12)</sup> 즉, 2017년까지 수송용 연료의 효율과 재생 가능한 대체연료의 사용증진에 의해 화석연료의 소비를 20%까지 감축할 계획이며, 이는 “에너지정책법 2005” 요구보다 4배 이상 높은 수준이다. 최근에 “에너지 자립 및 에너지안보 법(Energy Independence and Security Act (EISA))에 따라 RFS 2 프로그램이 발효되어 2022년까지 바이오연료를 연 360억 갤런을 사용하도록 요구하고 있다.<sup>(12)</sup>

한편, 미국 캘리포니아주 대기자원위원회(California Air Resources Board(CARB))는 주정부 수준의 바이오연료를 포함한 대체연료 사용을 증대하여 온실가스를 감축하는 “저탄소연료 제도(Low Carbon Fuel Standard(LCFS))”를 도입하고 있다.<sup>(10)</sup> 즉, 온실가스를 감축하기 위해 바이오연료를 사용하여 2020년까지 화석연료의 탄소강도(carbon intensity)를 10%(전주기분석(Life Cycle Assessment(LCA)))까지 줄이는 제도이다. 이러한 목표를 달성하기 위한 주요한 대체연료로서 바이오연료는 주로 에탄올, 바이오디젤, 신재생디젤 및 바이오메탄 등이 해당된다(Table 4).

### 2.2.2 미국의 바이오연료 혼합의무 정책

미국의 수송부문의 바이오연료 혼합의무제도는 화석연료를 공급하는 의무대상자로 하여금 자신이 공급하는 화석연료의 일정비율을 바이오연료로 공급토록 의무화하는 제도를 말

Table 4. Goals in California alternative fuels plan<sup>(13)</sup>

연도	대체연료 계획 (billion gallon/year)	화석연료 감축비율(%)
2012	2.4	9
2017	3.7	11
2022	5.3	26
2030	-	30
2050	-	50

한다. 의무대상자의 연간 화석연료 총생산량(kL)에 대해 당해연도 혼합의무비율을 곱한 의무량 만큼 바이오연료를 의무적으로 공급하여야 한다. 미국의 RFS 프로그램은 연방정부 차원에서 실시하고 있으며, 48개 주 모든 수송용 화석연료 공급업자인 정제사업자, 수입사업자 및 혼합업자(blender)에게 적용되어 시행하고 있다(Table 5). 또한 미국의 RFS 프로그램은 의무이행기간을 1년 단위로 하여 수행하고 평가하고 있는 실정이다.

RFS 1 프로그램은 2007년 9월 1일부터 발효하여 2010년 11월 30일까지 적용되어 시행되었으며, 의무대상자들이 휘발유에 의무혼합하는 바이오연료는 주로 옥수수 기반 에탄올이었다. 반면, RFS 2 프로그램이 2010년 12월 1일부터 발효되어 모든 수송용 연료인 휘발유와 경유에 대해 의무혼합 되는 바이오연료는 옥수수 기반 에탄올뿐만 아니라 바이오매스 기반 바이오연료, 셀룰로스계 바이오연료, 개량 바이오연료 등 가능한 모든 영역에서 적용되고 있다(Table 6). RFS 2 프로그램에서는 전주기 분석(LCA)을 통해 온실가스 저감 최소치를 설정하여 온실가스 감축에 우수한 것으로 평가되고 있는 2세대 신재생연료의 기술개발을 촉진하여 사용 확대를 증진

Table 5. Overview of RFS program in United States<sup>(6)</sup>

구분	내용
시행시기	- RFS 1 program : '07. 9. 1 ~ '10. 11. 30 종료 - RFS 2 program : '10. 12. 1 시행 중
목표	목표연도('20) : 수송용 연료의 20% 바이오연료 혼합의무
의무대상자	수송용 화석연료 공급업자 - 정제사업자, 수입사업자, 혼합업자(blender)
대상연료	에탄올, 바이오디젤 등의 바이오연료
의무기간	1년 단위
감독기관	환경보호청(Environmental Protection Agency, EPA)

Table 6. Biofuel category under the RFS 2 program<sup>(5)</sup>

신재생연료	대상연료	전주기 온실가스 감축 최소치
재생가능연료	- 옥수수 기반 에탄올	20%
개량 바이오연료	- 비옥수수 전분질계 기반 에탄올 - 바이오부탄올	50%
바이오매스 기반 바이오연료	- 바이오디젤(FAME) - 신재생디젤 (셀룰로스계 F-T 디젤)	50%
셀룰로스계 바이오연료	- 셀룰로스 - 헤미셀룰로스 - 리그닌 기반	60%

하고 있다. 여기서 바이오연료에 대한 전주기 온실가스 저감 최소치는 2005년 휘발유, 경유의 온실가스 대비 감축비율을 기준으로 설정되었다(Table 6).<sup>(5)</sup>

RFS 1 프로그램에서는 자동차용 연료에 포함되는 재생 가능 연료 의무 도입량을 2006년 40억 갤런(약 1,516만 kL)을 시작으로 매해 단계적으로 끌어올려 2012년에는 75억 갤런(약 2,843만 kL)에 이르도록 설정하였다. 그러나 RFS 2 프로그램으로 전환하면서 재생 가능 의무 도입량은 RFS 2 프로그램에서는 지속적으로 개량 바이오연료, 셀룰로스계 바이오연료 등에 대한 기술개발 확산 등으로 매년 의무도입량이 증가되어 2022년에는 연 360억 갤런(13,644만 kL)의 바이오연료의 도입을 계획하고 있다(Fig. 3). RFS 프로그램 관리감독기관인 미국 환경보호청(EPA)은 RFS 2 프로그램 발효에 따라 전분질계 에탄올 플랜트는 감소되는 반면 온실가스 감축 효과가 우수한 셀룰로스계 에탄올의 사용이 2010년 이후 지속적으로 증가할 것으로 전망하고 있다.<sup>(14)</sup>

2010년 RFS 2 프로그램에서는 4개의 바이오연료 영역에서 바이오연료 혼합의무 기준을 제시하고 있는데, 재생가능 연료가 8.25%로 가장 높고, 바이오매스 기반 디젤 1.10%, 개량 바이오연료 0.61%, 기술개발 확산이 진행 중인 셀룰로스계 바이오연료는 0.0065%로 미비하였다(Table 7).

RFS 프로그램의 의무이행 기간은 기본적으로 1월부터 12월까지의 1년 단위로 하고 있으며, 의무이행 관련 분기별 보고서를 제출하는 것을 의무화하고 있으며 분기 보고서는 매분기가 지난 후 2개월 이내에 제출하는 것을 원칙으로 하고 있다.

미국의 RFS 1 프로그램의 신재생연료 의무량(Renewable Volume Obligation(RVO)) 산정은 아래와 같은 식 1에서의

무대상자의 연간 휘발유 총생산량 또는 수입량에 환경보호청(EPA)에 의해 규정된 의무비율 기준(% Standard)을 곱하여 산정하고 있다. 여기서 % 의무비율 기준은 정부가 의무대상자에게 할당한 셀룰로스계 바이오연료, 바이오매스 기반 디젤, 개량 바이오연료 및 재생 가능 연료를 말한다. 여기서 연간 휘발유 생산량을 결정하기 위해 EPA는 48개 주에서 생산 또는 수입이 가능한 모든 휘발유뿐만 아니라 RBOB (renewable blendstock for oxygenate blending), CBOB (conventional blendstock for oxygenate blending) 등을 포함하도록 하고 있다.

$$RVO = (RFSStd)^a \times (GV)^b + (DV)^c + D^d \quad (\text{식 1})$$

- a : % 의무비율 기준
- b : 연간 휘발유의 생산량
- c : 연간 경유의 생산량
- d : 예치 의무량

한편, RFS 프로그램에서 모든 신재생연료의 흐름 파악을 위해 RIN(Renewable Identification Number) 시스템을 도입하고 있으며, 일종의 인증서(certificate)의 개념이라고 할 수 있는데, 이는 미국 RFS 프로그램 운영의 핵심적 관리운영 시스템이라고 할 수 있다(Table 8).<sup>(14)</sup> 이 시스템은 총 38개의 코드 숫자로 구성되어 있는데, 바이오연료의 생산업자나 수입업자 등이 양도구분, 생산배치, 회사등록, 생산설비 등록, 양도된 배치수, 가중치, 해당 바이오연료 등의 해당 코드를 입력하여 정보를 등록한다. RIN은 신재생연료의 생산자(주로 에탄올, 바이오디젤 생산자)와 수입자에 의해 등록되며 그들이 다른 사람에게 양도되는 배치(batch)에 대해서 발급하고 있다. 따라서, RFS 프로그램에서 RIN 시스템은 기본적인 통화를 형성하므로 매우 중요하며, 거래, 신용 및 이행에 관한 통화로 사용되고 있다. RFS 프로그램 하에서 RIN 판매

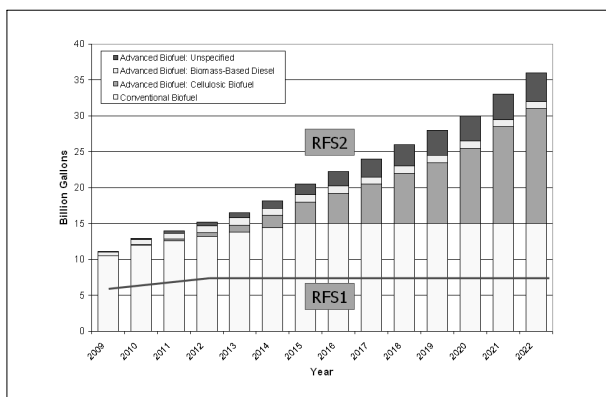


Fig. 3. The renewable fuel volume under the RFS 2 program.

Table 7. Biofuel standard under the RFS 2 program<sup>(14)</sup>

신재생연료	기준(%)	신재생연료의 의무량(10억 갤런)
셀룰로스계 바이오연료	0,004	0,0065
바이오매스 기반 디젤	1,10	1,15
개량 바이오연료	0,61	0,95
재생 가능 연료	8,25	12,95

Table 8. RIN code under the RFS 2 program

RIN : KYYYYCCCCFFFB BBBBRRDSSSSSSSEEEEEEE	
K	RIN 양도 코드(1 : 양도, 2 : 비양도)
YYYY	연 배치(batch)
CCCC	회사 등록 ID
FFFFF	생산설비 등록 ID
BBBBB	생산자의 양도된 배치수
RR	신재생연료 가중치
D	신재생연료(1 : 셀룰로오스계, 2 : 비셀룰로오스계)
SSSSSSS	RIN 블록 시작수
EEEEEEEE	RIN 블록 종료수

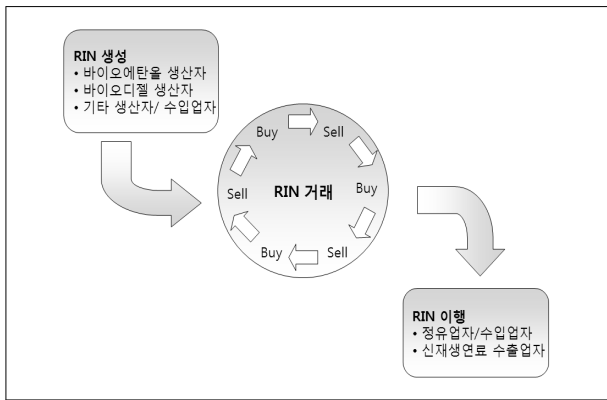


Fig. 4. The RIN transaction under the RFS 2 program.

자와 RIN 매매자 그리고 RIN의 소유자는 환경보호청(EPA)에 모든 거래상황을 보고해야 하는 의무가 있다. 즉, RIN은 바이오연료 공급업자에 의해 생성되어 거래, 매매되어 의무대상자가 의무이행을 위해 RIN를 사용하게 되며, 의무대상자가 RVO의 이행에 대한 증명으로 유효하게 된다(Fig. 4). RFS 프로그램에서 의무대상자가 의무불이행에 대한 과징금 (penalty) 부과는 RVO 미이행에 대해 부과하는 것으로 다른 연료기준에 부과되는 것과 비슷하게 적용되고 있다. 즉, 민사과징금(civil penalties)은 매일 또는 각 위반 및 경제적 이익량에 대해 \$32,500 이상 부과 하고 있다.

미국 에너지부(DOE)에서는 RFS 2 프로그램 시행이 2022년 미국 영향을 배출가스와 대기질, 연료가격, 식품가격, 경제 등의 측면에서 분석하였다(Table 9). 특히 미국의 RFS 2 프로그램 도입에 따라 수송부문의 온실 가스는 138백만 metric 톤이 감축되며, 연료가격은 휘발유 2.4센트, 경유 12.1센트가 하락하며 휘발유, 경유의 136억 갤런 소비감소를

Table 9. The impacts of united states by RFS 2 program<sup>(15)</sup>

구 분	2022년 영향
배출가스와 대기질 영향	
온실가스	138 백만 metric 톤 감축
Non-온실가스 방출	최소 1% ~ 최대 10% 감축
전국적인 오존	0.12 ppb 증가
전국적인 PM2.5	0.002 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가
전국적인 에탄올	0.409 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가
기타 전국적인 대기독성	0.0001 ~ -0.023 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 감소
연료가격 영향	
휘발유 가격	2.4 ¢ /갤론 하락
경유 가격	12.1 ¢ /갤론 하락
전체 연료가격	\$118억 감소
휘발유와 경유 소비량	136억 갤런 감소
식품가격 영향	
옥수수	8.2% 상승
콩	10.3% 상승
식품	\$10 상승
경제영향	
에너지 확보	최대 \$26억 증가
건강비용 영향	최소 \$6.3억 ~ 최대 \$22억 부담감소
온실가스 영향(SCC)	최소 +\$6억 ~ 최대 \$122억
오일 수입	\$415억 감소
농장식품	\$36억 증가
농장소득	\$130(+36%) 증가
옥수수 수출	\$57백만(-8%) 감소
대두 수출	\$453백만(-14%) 감소
총이득 <sup>a</sup>	최소 \$130억 ~ 최대 \$260억 추정 (SCC 가정에 따라 추정치 변동가능)

<sup>a</sup> : 전체 연료비용, 에너지안보, 건강비용 영향, 온실가스 영향 등의 총합 (SCC)

전망하고 있다. 또한 경제적 분석결과, 전체 연료비용, 에너지안보, 건강비용 영향 및 온실가스 영향 등의 총합으로 계산된 사회적 총이익은 최소 \$130억에서 최대 \$260억으로 전망하고 있다.

## 2.3 영국의 바이오연료 혼합의무 정책분석

### 2.3.1 유럽의 바이오연료 보급 정책

유럽연합(EU)은 신·재생에너지 지령(2009/28/EC)에 회원국에게 2020년까지 EU 에너지 중 신·재생에너지를 최소 20%(1990년 수준) 사용하기 위해 2010년 12월부터 각국의

Table 10. Typical greenhouse gas emission saving of biofuels in EU<sup>(16)</sup>

바이오연료 생산경로	온실가스 배출 저감률
밀 에탄올	32%
사탕수수 에탄올	71%
유채유 바이오디젤	45%
대두유 바이오디젤	40%
팜유 바이오디젤	36%
유기성폐기물 바이오가스	80%
습식소화 바이오가스	84%
건식소화 바이오가스	86%

혼합의무 사용을 정식적으로 설정하였다.<sup>(16)</sup> 특히, 이 중에서 수송부문에 신재생에너지를 10% 사용하도록 목표를 설정하여 추진 중에 있다.<sup>(2)</sup> 따라서 EU 회원국들은 자국의 여건을 고려한 신·재생에너지 의무 충당비율을 설정하고 있다. 이러한 신재생에너지 중 폐기물, 비식량 셀룰로오스계 및 리그노 셀룰로오스계로부터 생산된 바이오연료에 대해서는 가중치(2배)를 적용하여 사용확대 및 기술개발을 적극 장려하고 있다. 또한 신·재생에너지 지령(2009/28/EC)은 바이오연료의 합리적 생산과 사용에 대한 지속가능성 기준(sustainability criteria)을 도입하고 있다. 즉, 바이오연료의 보급 및 확대를 위한 바이오연료의 원료작물 생산을 위해 토지용도의 간접적 전환에 따라 산림파괴 및 식량문제 유발 등의 문제점이 발생함으로써 신재생연료의 지속가능성 기준 필요성이 제기되어 세계에서 가장 먼저 도입되었다.<sup>(6)</sup> 바이오연료의 전주기 분석(LCA)에 의한 온실가스 배출량을 산정하여 온실가스 감축 기여가 큰 바이오연료 사용을 권고하고, 신·재생에너지 할당 목표로 인정하여 계산하고 있으며, 정부의 세제혜택 등의 지원도 받을 수 있다. Table 10은 EU에서 제시하고 있는 대표적인 바이오연료들의 생산경로에 따른 온실가스 배출 저감률을 보여주고 있다. EU는 바이오연료가 기존 화석연료 대비 35% 이상 온실가스 저감하도록 규정하고 있으며, 2017년에는 50%, 2018년에는 60%까지 증가시킬 계획에 있다.<sup>(2)</sup>

### 2.3.2 영국의 바이오연료 보급 정책

영국 정부는 신·재생에너지의 사용 증진 및 온실가스 배출의 감축을 위해 강력한 정책추진인 저탄소 경제(low carbon economy)의 에너지 정책방향으로 나가고 있다. 특히, 저탄소 경제의 주요 세 가지 정책 추진은 원료수급 안정성, 화석

연료 감축 및 기후변화 대응이다. 영국 정부는 EU의 신·재생에너지 지령(2009/28/EC)에 제시된 목표 달성을 위해 2020년까지 전체 에너지 중 신·재생에너지 비중을 15%로 설정하였다.<sup>(17)</sup> 이러한 목표를 달성하기 위해 영국 정부는 3가지 분야에서 신·재생에너지 보급 정책을 추진하고 있다. 즉, 전력 부문에 신재생에너지 의무사용제도(Renewable Obligation (RO))를 가장 먼저 도입하였고, 수송부문에 있어서 수송용 신재생연료 의무혼합 제도(RTFO)이며, 상업용, 공공용 및 주거용 빌딩에 열원으로 재생에너지를 사용하는 재생에너지 열원 프로그램(Renewable Heat Program(RHP))이다.<sup>(17)</sup>

### 2.3.3 영국의 바이오연료 혼합의무 정책분석

영국의 RTFO는 2004년 “에너지법 2004(Energy Act 2004)” 도입 설정 후, 2005년 제도 도입 컨설팅을 통해 도입을 최종 확정하였다.<sup>(18)-(19)</sup> RTFO는 현행 전력부문에 시행하고 있는 신·재생에너지 의무사용제도(RO)를 기반으로 하여 설계되어 2008년 4월부터 추진하고 있다. 영국의 RTFO의 도입 목적은 기후변화 대응을 위하여 수송부문에 온실가스 감축을 위하여 바이오연료 사용 증진에 대한 필요성이 제기되어 중·장기 목표 설정을 통해 제도가 마련되었다. 영국 RTFO의 개념은 모든 수송용 화석연료 공급자들은 판매연료의 일정비율을 재생 가능한 수송연료로 대체하여 매년 수송용 신재생연료를 일정량 의무적으로 판매하게 되며 이에 대한 판매 인증서(certificates)를 교부받게 되는 제도이다. RTFO는 2014년까지 수송용 연료에 5% 바이오연료로 혼합의무하는 것을 목표로 하고 있다(Table 11).

Table 11에서 보는 것처럼 바이오연료의 혼합의무 사용에 대한 의무대상자의 기준은 수송용(주로 도로) 화석연료 45만 리터 이상 공급업자로 정유사와 수입사가 해당하며 15개사가

Table 11. Overview of RTFO<sup>(5)</sup>

구분	내용
시행시기	2008년 4월
목표	목표연도('14) : 수송용 연료의 5% 바이오연료 혼합의무
의무대상자	수송용 화석연료 공급업자(연간 45만 리터 이상) - 정제사업자, 수입업자
대상연료	바이오디젤, 에탄올, 바이오가스
의무기간	1년 단위
감독기관	영국 교통부(Department of Transport)



된다. 또한 RTFO 제도 하에서 화석연료 대체연료는 주요 바이오연료로서 크게 바이오디젤, 에탄올 및 바이오가스로 보급하고 있다. 이에 대한 바이오연료 생산연료 공급업자는 주로 바이오디젤 공급업자가 해당하고 있다. 한편 바이오연료 중 바이오디젤(83%), 에탄올(17%) 및 바이오가스(40만 kg) 순이다. RFFO의 제도 도입에 따른 주요한 특징은 시장의 신뢰도, 정부의 관리능력을 제고시키고 정유사에게 책임을 이 전시켜 바이오연료의 생산비를 감축시킨다는 장점을 가지고 있다는 것이다. 또한 바이오연료의 보급 활성화를 위한 세금 인센티브는 2002년부터 바이오디젤, 2005년부터 에탄올에 대해 각각 20 파운드/L를 부여하고 있으나 세금 인센티브제도는 2010년 4월에 폐지하였다. 2007년 영국 교통부에서 RTFO 제도의 정착을 위해 관리감독기관(Administrator)인 신재생연료청(Renewable Fuel Agency(RFA)) 설치를 “RTFO order 2007”에 명시화하여 운영하였다. 관리감독기관인 RFA는 세계 최초의 바이오연료에 대한 지속가능성 관리기관으로 높이 평가되고 있다. 또한 RFA의 바이오연료에 대한 온실가스 감축을 위한 탄소 및 지속가능성에 대한 시스템은 유럽의 지속가능성 기준 설정에 기초가 되었다. 그러나 최근 RFA는 영국 교통부에 흡수되어 2011년 4월부터 RTFO의 관리감독은 영국 교통부가 업무를 맡고 있다.

RTFO 제도의 의무대상자에게 부여되는 의무비율의 정의는 식 2와 같이 규정하고 있다. 전체 공급연료량( $V_{Total\ fuel\ pool}$ )은 바이오연료( $V_{renewable}$ )의 공급량과 화석연료의 합으로 이루어지며, 의무대상자에게 부여되는 바이오연료의 공급량은 목표비율과 화석연료 공급량의 곱으로 나타낼 수 있다. 이러한 전체 공급량과 바이오연료 공급량의 각각의 식을 결합해 주면 식 2와 같이 나타낼 수 있다. 따라서 의무비율과 바이오연료 공급량은 비선형의 상관성을 가지며, 이는 100% 의무이행 시 시장에서 수송용 신재생연료 50%만이 유통되고 200% 의무이행에는 67%의 수송용 신재생연료가 유통될 수 있음을 의미한다.<sup>(20)</sup> RTFO제도 시행에 따른 의무 도입량은 “RTFO order 2007”에 명시화 되어 있는데 시행 1차년도인 2011년~2012년에는 바이오연료 혼합의무 비율 4.5%로 2009년 이후 매년 0.5%씩 증가하여 2012년까지 5%를 목표로 하고 있다(Table 12).

$$V_{renewable} = (Target \times V_{total\ fuel\ pool}) / (1 + Target) \quad (\text{식 } 2)$$

Table 12. biofuel standard under the RTFO<sup>(2)</sup>

연도	의무비율(%)
2009 ~ 2010	3.5
2010 ~ 2011	4.0
2011 ~ 2012	4.5
2013 ~ 2014	5.0

$V_{Total\ fuel\ pool}$  = 전체 공급 연료량

$V_{renewable}$  = 바이오연료 공급량

한편, RTFO 제도에서 의무대상자들은 매달 영국 교통부에 연료 판매 기록을 보고해야 하며, 영국 교통부는 수송용 바이오연료 판매에 따른 연료세(fuel duty)를 납부하는 의무대상자들에게 인증서를 교부하여 한다. 따라서, 인증서는 필요에 따라 의무대상자들 사이에 판매 가능하며 각 의무기간(compliance period)이 종료되는 시점에 관련 회사들은 의무이행에 순응한다는 표시로 충분한 인증서를 확보해야 한다. 이렇게 인증서를 확보함으로써 바이오연료의 혼합의무에 따른 의무이행을 수행하는 것이다. 만약 어느 한 회사가 각 의무기간이 종료되는 시점에서 충분한 인증서를 확보하지 못한다면 그 회사는 “buy-out price”를 지불해야 하며, 이 buy-out price는 “buy-out fund”로 유입된다. 따라서 buy-out fund는 각 의무기간이 종료되는 시점에서 인증서를 구입한 회사들에 의해 리사이클 된다.<sup>(20)</sup>

영국 RTFO 제도가 미국의 RFS 프로그램과 차별화된 점은 탄소 및 지속가능성 보고 시스템이다. 즉, 의무이행 당사자인 의무당사자와 바이오연료 공급자로부터의 바이오연료에 대한 탄소 및 지속가능성(Carbon & Sustainability(C&S)) 보고는 영국 교통부의 온라인 운영 시스템에 접속하여 이행하게 되어 있으며, 이는 RTFO 제도의 핵심이자 영국의 수송부문에서 온실가스 저감의 주요 정책이기도 하다. 따라서, RTFO 제도는 바이오연료에 대한 탄소 및 지속가능성 기준을 바이오연료의 전 생산과정의 배출가스에 대한 전주기분석(LCA)에 기초로 한 바이오연료의 탄소 배출가스량을 산정하고 있다. 즉, 바이오연료의 원료, 원산지, 생산 공정 등에 기초한 탄소배출가스 양을 산정하여 온실가스 감축을 위한 “default factor”를 제공하고 있다(Fig. 5).<sup>(21)</sup> 탄소 및 지속가능성 보고를 위한 온실가스 산정 해당 신재생연료 범주에는 에탄올, 바이오 ETBE, 바이오디젤, 수첨바이오디젤(HBD), 바

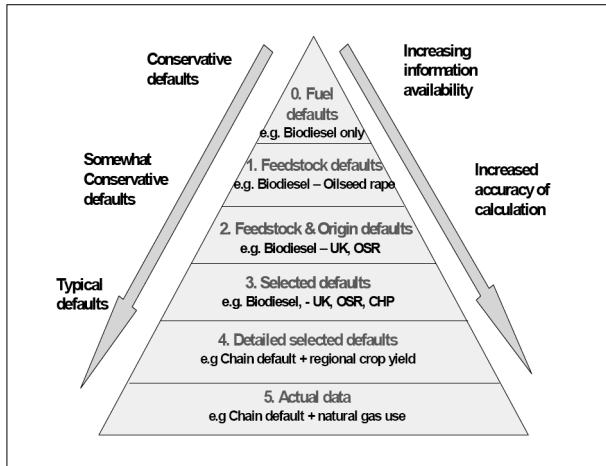


Fig. 5. The default values standard of biofuels under the RTFO.<sup>(22)</sup>

Table 13. The carbon and sustainability(C & S) reporting under the RTFO<sup>(21)</sup>

시기	온실가스 감축기준	환경개선 기여 원료 기준	바이오연료 특성 데이터 보고기준
2008 ~ 2009	40%	30%	50%
2009 ~ 2010	45%	50%	70%
2010 ~ 2011	50%	80%	90%

이오가스 및 순 식물성유(PP0) 등이 속한다. Default values 를 사용한 계산법은 탄소강도 예측을 통해 가능하며, 이러한 계산 RFA에서 제공된 프로그램으로 산정하여 보고하고 있다. 이러한 default 값의 표준을 위하여 의무대상자는 정확도 수준을 0~5에 따라 계산하여 보고하여야 한다.

RTFO 제도에서 설정한 탄소 및 지속가능성 기준은 의무 이행대상자인 의무대상자와 바이오연료 공급자 모두가 영국 교통부에 보고하도록 되어 있다(Table 13).<sup>(20)</sup> 즉, 모든 이행당 사자가 환경개선 기여 원료기준, 온실가스 감축기준, 바이오 연료 특성 데이터 보고 기준 등을 설정하여 보고토록 하고 있으나, 현재는 의무대상자의 자발적 보고사항이나 거의 모든 의무대상자가 이행하고 있으며 향후에 의무화 예정이다. 따라서 탄소 및 지속가능성(C & S) 보고의 미이행에 대한 행정상의 처벌은 하지 않고 있다. 이러한 RTFO 제도의 바이오 연료에 대한 지속가능성 기준 설정은 “바이오연료 생산에 대한 간접적 영향에 대한 걸러기 방법(Gallagher Review)”<sup>(22)</sup> 을 기초로 하고 있다. RTFO의 지속가능성 기준은 메타 표준 (Meta-standard) 걸러기 방법으로 환경적 지속가능성 기준,

Table 14. The carbon intensity and carbon saving of biofuels under the RTFO<sup>(2)</sup>

신재생연료	탄소강도 (grams CO <sub>2</sub> e/MJ)	탄소절약(%)
에탄올	115	-36
바이오디젤	93	-8
바이오가스	36	58
바이오ETBE	115	-36
순식물성유(PP0)	87	-1

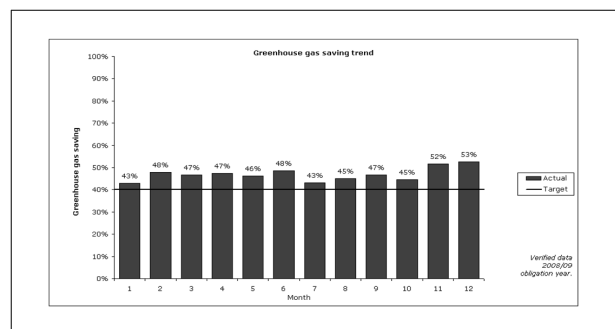


Fig. 6. The GHG reduction status by C & S reporting under the RTFO(2008.4 ~ 2009.4).

사회적 지속가능성 기준 등을 주로 고려하고 있다. 환경적 지속가능성 기준은 생태계 보호, 탄소저장 및 토양공기수질 등을 고려하고 있으며, 사회적 지속가능성 기준은 노동자의 권리, 토지권리 등도 고려하고 있다.

RTFO 제도에서는 온실가스 감축을 위한 기준으로 각 신재생연료에 대한 탄소강도(carbon intensity)와 탄소 감축치를 제시하고 있으며 이를 바탕으로 이행당사자들이 사용하는 신재생연료에 대해 적용하고 있다(Table 14). 바이오연료 중 가장 낮은 저탄소연료인 바이오가스가 36g CO<sub>2</sub>e/MJ로 가장 낮은 탄소강도값을 제시하고 있으며, 바이오디젤은 93g CO<sub>2</sub>e/MJ 그리고 에탄올과 바이오ETBE는 동일한 115g CO<sub>2</sub>e/MJ 탄소강도값을 가진다.

영국의 수송부문의 온실가스 저감대책으로 추진하고 있는 RTFO의 시행 1년간(2008년~2009년)의 수행결과, 국가 신재생연료 혼합의무 목표에 대해 의무이행당사자들이 달성한 비율은 94.3%로 비교적 높게 평가되었다.<sup>(23)</sup> 또한 국가 온실가스 저감 목표치 40%에 비하여 실제 달성비율은 46%로 상향되었지만(Fig. 6), 탄소 및 지속가능성 보고 중 환경적 기준에는 국가 목표치에 대부분 도달하지 못했다(Fig. 7).

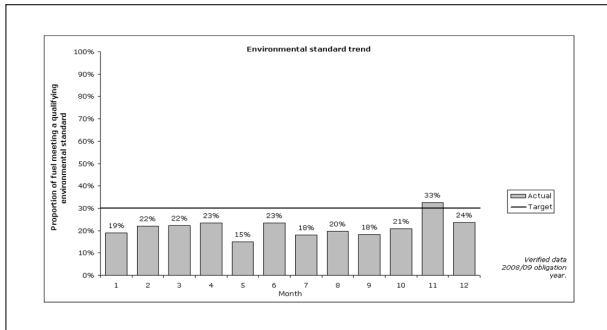


Fig. 7. The environmental standard by C & S reporting under the RTFO(2008.4 ~ 2009.4).

### 3. 결론

전 세계적으로 석유자원 고갈에 따른 탈석유 대응 에너지원 다양화와 기후변화 대응을 위한 온실가스 저감을 위한 저탄소 에너지 정책이 중시되고 있는 현실이다. 이러한 저탄소 에너지 정책 중에서 수송부문의 온실가스 감축의 수단으로 바이오연료의 사용을 확대하고 있다. 특히, 수송부문에서 바이오연료의 혼합 비중을 획기적으로 확대하기 위해서 수송용 화석연료 공급사업자에게 바이오연료를 의무적으로 혼합하는 바이오연료 혼합의무제도를 유럽과 미국 등에서 도입하여 시행하고 있다. 미국은 연방정부 차원에서 바이오연료 혼합의무제인 RFS 프로그램과 캘리포니아 주정부 차원에서 저탄소연료기준 제도인 LCFS의 도입을 통하여 수송부문의 온실가스 저감대책으로 시행하고 있다. 한편 EU는 신·재생에너지 지령(2009/28/EC)에 의해 회원국에게 2020년까지 EU 에너지 중 신·재생에너지 최소 20%(1990년 수준) 사용을 위해 2010년 12월 각국의 의무사용을 설정하였다. 특히, 이 중에서 수송부문에서 신·재생에너지를 10% 사용하도록 목표를 설정하여 추진 중에 있다. 한편, 영국은 수송부문의 바이오연료의 사용 증진 및 온실가스 배출의 감축에 대해 강력한 추진을 위해 저탄소 경제(low carbon economy)로 정책방향을 바꾸고 RTFO 제도를 도입하여 시행하고 있다.

정부의 2020년 국가온실가스 감축목표를 배출전망치(BAU) 대비 30% 저감에 대해 수송부문이 보다 적극적인 정책수립을 통해 국제사회와의 약속을 현실적으로 이행하는 정책적 전환이 필요한 때이다. 이런 측면에서 바이오연료의 자국 원료 수급이 가능한 미국의 RFS 프로그램과 해외 의존도가 높은 영국의 RTFO 제도를 면밀히 검토할 필요가 있다. 바이오

연료 중 바이오디젤이 국내에서 향후 혼합의무 될 경우 수송부문의 온실가스 감축관리 위주의 바이오연료 정책제도로의 점진적 전환이 필요하다고 사료된다.

### References

- [1] IEA. 2009, "World Energy Outlook", International Energy Agency. OECD/Paris.
- [2] 지식경제부, 에너지관리공단 신재생에너지센터, 2007, "신·재생에너지 RD&D 전략 2030(수송용 바이오)".
- [3] 지식경제부, 에너지관리공단 신재생에너지센터, 2007, "신·재생에너지 RD&D 전략 2030(유기성폐자원 바이오에너지분야)".
- [4] S.N. Naik, Vaibhav V. Goud, Prasant K. Rout, Ajay K. Dalai, 2010, "Production of first and second generation biofuels : A comprehensive review", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 14, pp. 578-597.
- [5] 지식경제부, 한국석유관리원, 2010, "신재생연료 혼합의무제도 도입방안 마련연구".
- [6] 지식경제부, 한국석유관리원, 2010, "신재생연료의 지속가능성 기준 국내 도입 타당성 연구".
- [7] Hart's Global Biofuel Center, 2010, "Global Biofuels Outlook 2010-2020", Houston, USA.
- [8] RFA, 2010, Renewable Transport Fuel Obligation, <<http://www.renewablefuelsagency.gov.uk/aboutthertfo.cfm>>.
- [9] Emerging Markets, 2008, "Biodiesel 2020 : Global Market Survey, Feedstock Trends and Market Forecasts", <<http://www.emerging-markets.com/PDF/Biodiesel2020Study.pdf>>.
- [10] Hart Energy's Global Biofuels Center, Special report, 2011, "Global : update on states of biofuels mandates".
- [11] Y. Sonia, S. Daniel, 2010, "Low carbon fuel standards : Implementation scenarios and challenges", Energy Policy, 38, pp. 6955-6965.
- [12] G.W. Bush, 2007, State of the Union Address. available from : [www.whitehouse.gov/stateoftheunion/2007/](http://www.whitehouse.gov/stateoftheunion/2007/); January 2007. Washington DC.
- [13] S.K. Hoekman, 2009, "Biofuels in the US.- challenge and opportunities", Renewable Energy, 34, pp. 14-22.
- [14] N.Scarlat, J.-F. Dallemand, 2011, "Recent development of biofuels/bioenergysustainability certification : A global Overview", Energy Policy, 39, pp. 1630-1646.
- [15] EPA, 2011, Renewable Fuel Standard, <<http://www.gov/>>

- otaq/fuels/renewablefuels/index.htm>.
- [16] European Parliament, 2009, "Directive 2009/28/EC On the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing", The European Parliament and Council of the European Union.
- [17] G. Anandarajah, N. Strachan, 2010, "Interactions and implications of renewable and climate change policy on UK energy scenarios", Energy Policy, 38, pp. 6724–6735.
- [18] E4Tech, 2006, "Methodology for carbon Reporting renewable transport fuel obligation(RTFO)", Commissioned by LowCVP.
- [19] Ecofys, 2006, Sustainability reporting within the RTFO : Framwork Report; Commissioned by the UK Department of Transport, 2006.
- [20] E4Tech, 2006, "Feasibility study on certification for a Renewable Transport Fuel Obligation(RTFO)", Commissioned by the UK Department of Transport, 2006.
- [21] 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.
- [22] Renewable Fuel Agency, 2008, "The Gallagher Review of the indirect effects of biofuels production", RFA, St. Leonard-on-Sea.
- [23] DfT, 2011, Renewable Transport Fuel Obligation, <<http://www.dft.uk/topics/sustainable/biofuels/rtfo/>>.

## 김 재 곤



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

현재 한국석유관리원 녹색기술연구소 선임연구원  
(E-mail : jkkim@kpetro.or.kr)

## 임 의 순



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

현재 한국석유관리원 녹색기술연구소 청정연료팀장  
(E-mail : esyim@kpetro.or.kr)

## 정 충 섭



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

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