

바이오디젤 학술 정보분석

노경란¹ · 김상철¹ · 오민수^{2*}

¹한국과학기술정보연구원 미래기술분석실, ²한국과학기술정보연구원 ReSEAT 프로그램

Scientometric Analysis for Biodiesel

Kyung-Ran Noh, Sang-Cheol Kil and Mihn-Soo Oh*

Biodiesel is an important new alternative transportation fuel and it can be produced by chemically reacting a fat or oil with an alcohol, in the presence of a catalyst. The product of the reaction is a mixture of methyl esters, which are known as biodiesel, and glycerol, which is a high value co-product. The process is known as transesterification. Biodiesel can be used neat and when used as a pure fuel it is known as BD100. However, it is often blended with petroleum-based diesel fuel and when this is done the blend is designated BD5 or BD20(BD20 is a blend of 20% biodiesel and 80% petroleum diesel fuel). Adherence to a quality standard is essential for proper performance of the fuel in the engine and will be necessary for widespread use of biodiesel. In this study, we analyzed 4,144 papers of biodiesel by category, country, institution, keyword etc. from 2001 to 2013 years.

Key words : biomass, bioenergy, biofuel, biodiesel, scientometric analysis

세계적으로 석유 수급의 악화와 산유국의 정세불안으로 유가가 급등하고 매년 에너지 소비 증가와 지구온난화에 대비한 온실가스 배출절감에 대한 전 세계적 노력과 교토의정서로 대변되는 기후변화협약 발효 등으로 화석연료의 대안으로서 바이오에너지에 대한 국제적 관심이 고조되고 있다. 바이오에너지 중 바이오디젤과 바이오에탄올은 수송용 대체연료 중심으로 최근 수년간 연구개발 투자가 집중되고 있는 친환경 녹색성장의 핵심 기술이다. 이 연구는 기술의 개요와 국내외 현황을 살펴보고, 바이오디젤분야 연구논문의 연도별 발표현황, 주제 카테고리, 저널 패턴, 국가별 논문 수, 연구기관별 분석, 키워드 등을 분석하여, 국내 관련 산업 및 기술정책 수립과 연구개발에 유용한 학술자료로 활용될 수 있도록 하였다.

주요어 : 바이오매스, 바이오에너지, 바이오연료, 바이오디젤, 계량정보분석

1. 서 언

최근 세계 각국은 기후변화협약에 따라 온실가스 규제가 발효된 가운데 화석연료에 의한 이산화탄소 배출량을 최소화하는데 국력을 모으고 있으며, 이를 위한 조치와 국가 에너지 안보차원에서 신·재생에너지 개발에 박차를 가하고 있다.

현재 지구상의 석유 매장량은 1,750억 톤 정도이며, 천연가스는 177조m³에 불과하여 앞으로 40~60년 후

에는 완전히 소진될 것으로 예측되고 있어서 대체에너지의 개발은 이른바 전 지구적인 목표가 되지 않을 수 없다 (BP Statistical Review of World Energy, 2008). 원유 선물가격이 배럴당 100US\$ (2013년 8월 27일 기준 두바이유 108.18US\$)를 훌쩍 넘어서며 또 다시 사상 최고치를 기록하였다. 석유에 의존하는 시장경제 시스템은 더 이상 지속 가능할 수 없다. Lester R. Brown(2006)은 이미 그의 저서 'Plan B 2.0'에서 이를 예견한 바 있으며, 또한 그는 새로운 저서 'Plan

*Corresponding author: mihnsoo@reseat.re.kr

B. 3.0(2008)에서 이제 그 위기로 인하여 우리 문명 전체가 몰락할 것이라고 경고하고 있다.

최근 고유가와 지구온난화에 따른 환경문제로 화석 연료를 대체할 수 있는 신·재생에너지에 대한 관심이 전 세계적으로 고조되고 있다. 특히 다른 신·재생에너지에 비해 대기 중 이산화탄소 저감효과가 큰 것으로 분석되는 바이오에너지(bioenergy)가 수송용 바이오 연료를 중심으로 선진국에서 크게 각광받고 있으며, 이의 상업화가 활발히 진행 중이다. 현재 바이오연료는 전 세계적으로 전체 수송연료의 1% 정도를 차지하고 있으며, 2000년대 이후 계속 증가추세에 있으며 2030년에는 최대 5%까지 늘어날 것으로 예상된다.

우리나라에서는 바이오에너지의 이용이 상대적으로 미흡한 편이나 최근 바이오연료의 중요성이 부각되면서 점차 개발보급 노력이 확산되는 추세에 있다. 우리나라는 2003년 정부가 에너지 대책의 일환으로 장기에너지 계획을 수립한 바 있으며, 2007년 기준 에너지(원유와 가스) 자부개발률이 4.2%에 불과해 프랑스 97%, 스페인 62%, 중국 26%, 일본 19% 등에 비해 크게 뒤쳐진 상황이며, 우리나라는 2012년에는 13.81% 이었고, 2020년에는 35%까지 끌어 올릴 계획이다. 이러한 문제를 해결하는데 일조하기 위해 바이오디젤 관련 학술정보 분석을 실시하였다.

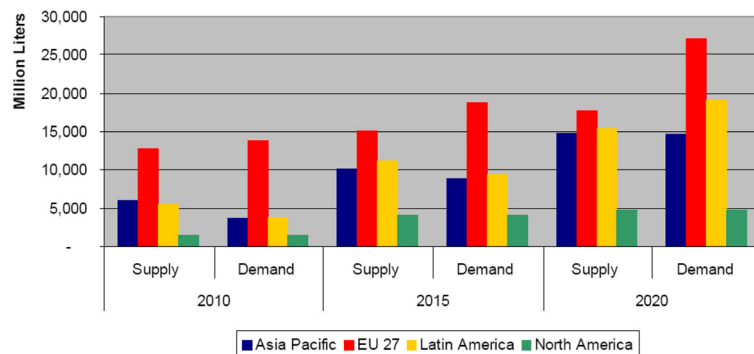
2. 기술의 개요

세계는 자원고갈과 기후변화 및 에너지안보라는 3가지 커다란 과제에 직면해 있으며, 에너지의 미래는 국제사회와 세계 각국이 이들 과제에 어떻게 대처하느냐에 달려 있다. 에너지 및 산업구조를 저탄소기술로 전

환할 필요가 있으며 따라서 신·재생에너지 및 저탄소 에너지기술의 개발과 신속한 보급은 국가적인 과제가 되고 있다. 지구 온난화 문제에 대한 대응 수단인 바이오에너지는 2000년대 중반 이후 석유류 연료 가격이 급등하면서 그 중요성이 재인식되었고, 최근 10년간 연평균 15% 이상 성장률을 시현하고 있는 신·재생에너지이다.

바이오매스 에너지(Bioethanol, Biodiesel, Biogas)는 전통적인 에너지이지만 자원잠재력, 오랜 기술적 경험, CO₂ 배출량 감축특성 등의 여러 가지 장점을 때문에 새롭게 주목받고 있다. 특히 기존의 화석연료 시스템에 큰 변화를 주지 않으면서 대체에너지로 사용할 수 있기 때문에 새로운 미래 에너지원이 개발 될 때까지 주요 에너지원 중 하나로서 큰 역할을 할 수 있다. 바이오매스(Biomass)는 토양의 지속 가능성을 향상시킬 수 있는 중요한 열쇠이며 바이오연료, 의약품, 화학제품 등의 대체원료를 생산할 수 있기 때문에 지속 가능한 사회의 필요불가결한 요소이다. 따라서 바이오매스 에너지의 개발 및 보급은 지속 가능한 미래를 위한 청정에너지 공급의 가장 훌륭한 대책임에 틀림없다.

바이오디젤은 재생 가능한 연료로서 현재의 엔진 기름을 대체할 수 있고, 기존의 시설을 통해 운반, 판매가 가능하기 때문에, 가장 중요한 교통 에너지 자원인 화석 연료의 유력한 대안으로 여겨지고 있다. 바이오디젤의 수급 전망은 2010년부터 2020년까지 유럽연합(EU)과 남미(Latin America)가 계속해서 압도적으로 생산할 것으로 예상되며, 다음으로 아시아와 북미가 두 번째로 많은 생산을 하여 소비할 것으로 예상된다. 특히 2020년에는 유럽연합, 아시아 및 남미가 비슷한 양을 생산할 것으로 추정된다(Fig. 1; Global Biofuels



Source: Hart's Global Biofuel Center(2010)

Fig. 1. Global Demand & Supply of Biodiesel(2010-2020).

Center, 2010; OECD-FAO Agricultural Outlook 2-11-2020, 2011).

그러나 2015년 이후에는 바이오연료에 대한 중요성이 강조되고 정부의 정책적 요인 및 보편화로 남미를 제외한 나머지 국가들은 공급이 수요를 충족시키지 못할 것이다. 2010년 세계 바이오디젤 총 공급량은 약 200억 리터를 상회하여 총 수요량을 충족하였으나, 2020년에는 총 공급량이 500억 리터를 약간 상회하여 총 수요량(약 600억 리터 상회)을 충족시키지 못할 것이다(Fig. 1).

바이오디젤의 생산과 소비는 특히 유럽과 미국, 아시아에서 급격히 증가하고 있지만, 전체 연료시장에서 차지하는 비율은 아직 미미하다. 바이오디젤을 취급하는 주유소가 늘어나면서 소비자가 접할 수 있는 기회가 많아졌고, 대형 선박의 연료에 바이오디젤을 혼합하는 경우가 늘어나고 있다. 우리나라에서는 2006년 7월 1일부터 일반 경유에 5%의 바이오디젤이 섞인 혼합 경유를 판매한 바 있고, 독일과 이탈리아에서는 2006년부터 도심버스, 대형트럭은 100% 바이오디젤(BD100)을 사용하도록 의무화하고 있다.

현재 바이오디젤은 보통 경유보다 생산가가 높기 때문에, 이 점이 종종 대중화의 최대 걸림돌로 지적되고 있지만 원유 값의 상승에 따라 바이오디젤의 경제 규모는 앞으로 크게 증대될 전망이다.

3. Biodiesel 학술정보 분석

3.1. 데이터와 분석방법

바이오디젤 학술정보 분석을 위해 Web of Science

의 Science Citation Index Expanded(SCI-E)에서 2013년 2월 데이터를 수집하였다. 문헌 제목을 대상으로 'biodiesel' 이라는 키워드를 사용해 2001년부터 2013년 2월까지 발표된 바이오디젤 분야 문헌을 검색하였고, 검색된 문헌은 총 4,771편이었다. 이 중에서 Article은 3,694편이었다. 그 다음으로 Meeting Abstract가 324편, Review 논문이 269편, News Item이 195편, Proceedings paper가 181편, Editorial material이 46편, Letter가 34편, Correction이 27편, Reprint가 1편이었다(분석 tool에서 수집 가능함). 이 연구에서는 원저논문, 프로시딩논문, 리뷰논문 등 총 4,144편만을 분석대상으로 정했다.

이 연구에서는 바이오디젤분야 연구논문의 연도별 발표현황, 주제 카테고리, 저널 패턴, 국가별 논문수, 연구 기관별 분석, 키워드 등을 분석하였으며, 또한 저자의 주소 정보를 이용해 협력유형을 구분했다. 연구자의 주소 정보에 한 개 국가만 있는 경우 단독 논문으로 정의했다. 여러 국가의 연구자들이 저자로 참여하고 있는 논문을 국제 공동연구 논문으로 정의했다. 키워드 분석에서는 저자가 생성한 키워드와 KeyWords Plus를 분석했다. SCI-E 데이터베이스에서 KeyWords Plus는 참고문헌이나 각주에 있는 논문으로, 저자가 인용한 문헌의 제목에서 추출한 용어들로 구성된다.

3.2. 바이오디젤 관련 논문의 연도별 발표현황

2001년부터 2013년 2월까지 총 4,144편의 바이오디젤 관련 논문이 발표되었다(Fig. 2). 2001년 30편에서 2012년 866편으로 논문의 수가 대폭 증가했다. 연평균 증가율은 논문 편수 기준 40.06%, 누적 논문 수 기준

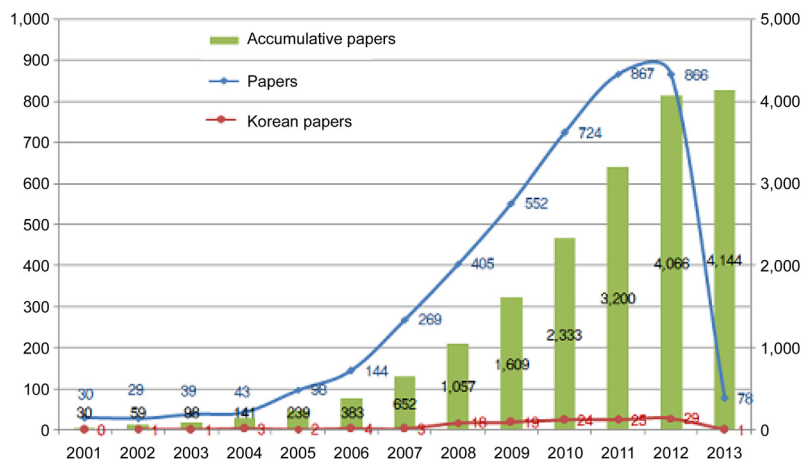


Fig. 2. The Number of Annual Publications for Biodiesel(2001-2013).

Table 1. Annually Measured-bibliographic Characteristics of Biodiesel-related Papers(2001~2013)

Year	TP	AU	AU/P	PG	PG/P	NR	NR/P	TC	TC/P	J	P/J	C
2001	30	97	3.2	205	6.8	554	18.5	3,486	116.2	20	1.5	11
2002	29	104	3.6	215	7.4	478	16.5	2,093	72.2	20	1.5	17
2003	39	115	2.9	336	8.6	710	18.2	2,286	58.6	26	1.5	19
2004	43	156	3.6	321	7.5	735	17.1	2,949	68.6	30	1.4	18
2005	98	335	3.4	781	8.0	2,458	25.1	6,822	69.6	50	2.0	24
2006	144	481	3.3	1,012	7.0	3,043	21.1	8,307	57.7	64	2.3	35
2007	269	1,020	3.8	1,979	7.4	5,983	22.2	10,067	37.4	120	2.2	38
2008	405	1,519	3.8	3,090	7.6	10,884	26.9	11,067	27.3	158	2.6	49
2009	552	2,132	3.9	4,243	7.7	17,714	32.1	9,889	17.9	182	3.0	60
2010	724	2,946	4.1	5,669	7.8	23,982	33.1	6,970	9.6	212	3.4	62
2011	867	3,584	4.1	7,174	8.3	29,661	34.2	4,094	4.7	248	3.5	60
2012	866	3,592	4.1	7,386	8.5	32,816	37.9	634	0.7	236	3.7	64
2013	78	321	4.1	627	8.0	2,649	34.0	4	0.1	39	2.0	31
Sum	4,144	16,402	4.0	33,038	8.0	131,667	31.8	68,668	16.6	553	7.5	84

TP = total number of papers, AU = number of authors, P = papers, NR = cited reference count, PG = page count, TC = number of times cited, TC/P = average number of times cites per article, J = number of journals, P/J = average number of papers per journal, C = total number of countries

57.29%이다. 바이오디젤 분야의 논문 수는 2005년 이후 지속적으로 증가하고 있다. 바이오디젤 분야에서 한국인의 논문 수는 극히 미미하여 2001년부터 2013년까지 논문 중 3.1%(127편)에 불과하다.

Table 1은 2001~2013년 기간에 발표된 바이오디젤 분야 논문의 계량서지적 특징을 요약하고 있다. 연도별 논문 수, 논문 한 편당 평균 저자 수, 논문 한 편당 참고 문헌 수, 논문 한 편당 페이지 수가 유의미하게 증가한 것을 알 수 있다. 저자정보가 없는 6편을 제외하고, 논문 한 편당 저자 수는 2001년 3.2명에서 2012년 4.1명으로 증가했으며, 논문 한 편당 참고문헌 수는 2001년 18.5편에서 2012년 37.9편으로 두 배 이상 증가했다.

논문 한 편당 페이지 수는 2001년 6.8페이지에서 2012년 8.5페이지로 증가했다. 과거 13년 동안 바이오디젤 분야의 지식이 빠른 속도로 증가했음을 보여주고 있다. 그리고 논문의 영향력을 보여주는 논문 한 편당 피인용 횟수는 16.6회였다. 논문 한 편당 피인용 횟수는 2001년, 2002년, 2005년에 각기 116회, 72회, 69회로 논문의 영향력이 다른 연도에 비해 상대적으로 높게 나타났다.

논문 한 편당 피인용 횟수는 논문이 발표된 이후 경과된 시간과 높은 상관관계를 맺고 있다. <Table 1>에서 논문 한 편당 피인용 횟수는 논문 발표 이후 경과된 시간과 반비례 관계를 보인다. 바이오디젤 관련 논문이 2007년 269편으로 전년대비 53%로 상승한 것

을 반영하듯이 논문 수록 저널의 수도 2007년 120종으로 전년대비 53% 증가했다. 바이오디젤 관련 논문을 수록하고 있는 저널의 수는 2001년 20종에서 2012년 236종으로 11.8배 증가했다.

3.3. 바이오디젤 관련 논문의 국가별 분석

최근 연구개발에서 국가간 공동연구가 지속적으로 증가하고 있다. 국가간 공동연구를 계량서지적 톨을 이용해 국제 공저 논문으로 추적할 수 있다. Fig. 3은 바이오디젤 분야에서 단일국가 논문, 국제공동연구 논문의 추이를 연도별로 보여준다. 바이오디젤분야에서 국제공동연구는 극히 소수에 불과하지만, 최근 들어 국제공동연구가 증가하고 있다.

바이오디젤 관련 논문을 발표한 국가를 분석함으로써 바이오디젤 분야의 연구를 수행하는 주요 국가와 국제공동연구 트렌드를 파악할 수 있다. Table 2는 바이오디젤 분야에서 가장 많은 논문을 발표한 국가의 단일국가 논문과 국제공동연구 논문을 비교한 것이다.

과거 13년 동안 전 세계 84개 국가에서 바이오디젤과 관련된 연구가 수행되었다. 이들 국가 중 미국은 645편으로 가장 많은 논문을 발표했다. 이는 전체 4,144편의 논문 중 15.6%를 차지한다. 그 다음으로 중국이 527편(12.7%), 브라질이 516편(13.5%)의 논문을 발표해 각기 2, 3위를 차지했다. 상위 20개 국가에서 발표한 논문의 수는 전체 논문 중 92.9%를 차지했다.

최근 캐나다, 인도 및 남미의 일부 국가에서는 바이

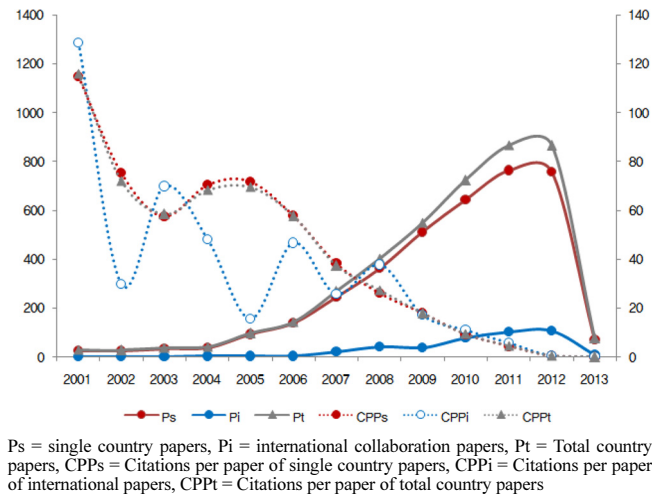


Fig. 3. Global Trends of Domestic Country & International Collaboration Papers of Biodiesel.

Table 2. Top 20 Countries of Biodiesel Publications Between 2001 and 2013

Rank	Country	Papers	Share(%)	CPPT	CPPs	CPPi
1	USA	645	15.6	20.54	21.60	15.45
2	Peoples R. China	527	12.7	16.84	16.81	17.08
3	Brazil	516	12.5	7.97	8.23	5.09
4	India	390	9.4	17.39	17.67	14.72
5	Spain	208	5.0	19.50	21.91	10.48
6	Turkey	202	4.9	25.21	24.98	31.57
7	Malaysia	192	4.6	11.03	11.22	10.39
8	Japan	146	3.5	35.19	39.02	22.59
9	South Korea	130	3.1	10.11	10.71	7.85
10	Taiwan	120	2.9	13.46	13.85	11.88
11	UK	118	2.8	18.52	18.85	17.74
12	Canada	107	2.6	24.60	26.73	12.50
13	Italy	95	2.3	18.20	18.39	17.39
14	Thailand	89	2.1	11.18	10.72	14.80
15	Germany	77	1.9	12.26	10.18	15.03
16	Greece	68	1.6	13.94	14.78	10.38
17	Portugal	67	1.6	14.76	17.98	6.63
18	France	60	1.4	15.88	26.07	7.55
19	Colombia	48	1.2	7.33	6.16	9.69
20	Argentina	44	1.1	20.02	24.29	3.44
	Total	4,144	100	16.6	17.0	13.1

CPPT = Citations per paper of total country papers, CPPs = Citations per paper of single country papers, CPPi = Citations per paper of international papers

오에탄올을 개발하고 있으며, 미국(알래스카), 남미(브라질 등), 유럽, 인도네시아, 남아공, 필리핀 등에서는 바이오에탄올과 바이오디젤 두 종류를 모두 개발하고 있다.

세계 바이오에너지산업의 선두주자로는 미국과 브라질, 유럽의 독일과 프랑스, 스웨덴을 들 수 있으며, 이들 국가의 바이오에너지산업은 본격적인 성장 단계에 돌입한 것으로 평가된다. 세계 바이오에너지 생산규모

Table 3. Top 20 Collaboration Countries of International Collaboration Papers

Rank	Country	Papers	Pi	Ci	Pi/Ci
1	USA	645	111	35	3.2
2	Peoples R China	527	66	16	4.1
3	Brazil	516	43	16	2.7
4	India	390	36	20	1.8
5	Spain	208	44	21	2.1
6	Turkey	202	7	3	2.3
7	Malaysia	192	43	23	1.9
8	Japan	146	34	14	2.4
9	South Korea	130	27	12	2.3
10	Taiwan	120	24	9	2.7
11	UK	114	34	24	1.4
12	Canada	107	16	8	2.0
13	Italy	95	18	17	1.1
14	Thailand	89	10	9	1.1
15	Germany	77	33	16	2.1
16	Greece	68	13	9	1.4
17	Portugal	67	19	7	2.7
18	France	60	33	17	1.9
19	Colombia	48	16	7	2.3
20	Argentina	44	9	8	1.1

Pi = Number of international collaboration papers, Ci = Number of countries that published co-author papers

(TOE 기준)의 75%를 차지하는 바이오디젤은 옥수수 등 식용바이오매스 강국인 미국과 브라질이 원료 경쟁력과 정책적 지원을 기반으로 세계 우위의 산업 경쟁력을 보유하고 있다.

Table 3은 국가별 국제공동연구 논문의 영향력을 보여준다. 전체 4,144편의 논문 중에서 단일 국가에서 발표된 논문은 3,722편(89.8%)이고, 국제공동연구로 발표된 논문이 422편(10.2%)이다. 이중 2개국이 공동 연구한 논문은 전체 논문 중 395편(9.5%)에 달한다. 바이오디젤 분야의 논문 한 편당 영향력은 16.6이며, 국제공동연구의 논문 영향력(13.1)보다 단일 국가의 논문 영향력(17.0)이 더 높은 것으로 나타났다.

전체 논문을 기준으로 살펴볼 때 논문 영향력이 큰 국가는 일본(CPPt 35.19)이었다. 단일 국가 논문의 평균 영향력이 가장 높은 국가는 일본(39.02), 국제 공동연구 논문의 평균 영향력이 가장 높은 국가는 터키(CPPi 31.57)로 나타났다. 터키는 다른 국가와는 달리, 논문 한 편당 영향력이 단일국가 논문보다 국제공동연구 논문에서 높았다. 한국의 경우 단독논문, 국제공동연구 논문의 영향력이 각기 10.71과 7.85로 세계 평균보다 훨씬 낮았다.

각 국가별 국제공동연구를 살펴보면 미국은 자국을 제외하고 35개 국가와 공동연구를 수행하여 가장 광범위한 국제적 네트워크를 형성하고 있는 것으로 나타났다. 미국은 중국, 인도, 대만, 콜롬비아, 브라질 등과의 공동연구가 많았고, 영국, 프랑스 등 유럽 선진국이나 일본과의 공동연구는 저조했다. 그 다음으로 국제공동연구 네트워크가 큰 국가는 중국이다. 중국은 미국, 한국, 일본과의 공동연구가 많았다(Table 3).

브라질은 포르투갈과의 공동연구가 많았다. 인도의 경우 미국과의 공동연구가 다른 국가에 비해 많았으며, 20개 국가 중 13개 국가와의 공동연구는 일회성에 그쳤다.

3.4. 바이오디젤 관련 논문의 연구기관별 분석

바이오디젤 관련 논문의 저자 소속기관은 지난 13년 동안 전 세계 2,189개 연구기관에서 관련 연구가 수행되었다. 이들 기관 중 United States Department of Agriculture(USDA) 산하에 있는 Agricultural Research Service(ARS)가 87편의 논문을 발표하여 전체 4,144편 중 2.09%를 차지하여 가장 많은 논문을 발표한 것으로 나타났다. 다음으로 인도의 Indian Institute of Technology(IIT)가 76편, 중국의 Tsinghua University가 74편으로 각기 2위, 3위를 차지했다.

바이오디젤 관련 논문을 가장 많이 발표한 상위 20개 연구기관의 국가를 살펴보면, 미국은 2개 기관, 브라질 7개 기관, 중국 2개 기관, 말레이시아 2개 기관이 포함된다. 인도, 한국, 그리스, 터키, 스페인, 태국, 일본은 각기 1개 기관이 상위 20개 기관에 포함된다(Table 4).

연구기관이 발표한 논문의 영향력을 분석한 결과, 논문발표수가 많은 상위 10개 연구기관 중 미국의 ARS가 가장 높은 CPP 값(37.48)을 나타냈다. 상위 20개 기관으로 확대하여 살펴본 결과 일본의 Kyoto University가 논문 한 편당 영향력이 57.52로 가장 높게 나타났다.

지난 13년 동안 발표한 논문의 수가 많은 상위 20개 연구기관의 국제공동연구 현황을 살펴보면, 국제공동연구 논문의 수보다 자국 내에서 수행된 연구 논문의 수가 압도적으로 많았다. 그리고 자국 내 연구논문의 영향력이 국제공동연구에 비해 더 높게 나타났다. 이것은 일반적으로 국제공동연구 논문의 영향력이 단독 국가 연구논문의 영향력에 비해 높게 나타나는 것과 상반된 현상이다.

바이오연료의 원료는 제 1세대 바이오디젤의 원료인

Table 4. Top 20 Institutions for Biodiesel Between 2001 and 2013

Rank	Institute	Country	Papers	CPPt	Ps	CPPs	Pi	CPPi
1	ARS	USA	87	37.48	80	38.71	7	23.43
2	Indian Inst Technol	India	76	1.17	70	1.08	6	2.16
3	Tsinghua Univ	China	74	36.17	72	37.05	2	4.50
4	Univ Malaya	Malaysia	58	1.43	43	1.02	15	2.60
4	Univ Sains Malaysia	Malaysia	58	14.07	50	14.18	8	2.12
6	Chinese Acad Sci	China	53	1.79	47	1.74	6	2.17
7	Univ Sao Paulo	Brazil	46	4.89	39	5.49	7	1.57
8	Univ Estadual Campinas	Brazil	45	8.18	41	8.02	4	9.75
9	Univ Fed Paraiba	Brazil	41	8.54	36	9.02	5	5.00
10	Univ Fed Rio de Janeiro	Brazil	37	18.03	33	19.51	4	5.75
11	Hanyang Univ	S. Korea	30	8.87	30	8.87	0	0
11	Natl Tech Univ Athens	Greece	30	14.63	28	14.93	2	10.5
13	Sila Sci	Turkey	29	37.96	29	37.96	0	0
13	Univ Castilla La Mancha	Spain	29	24.24	20	30.8	9	9.67
15	Chulalongkorn Univ	Thailand	27	15.30	26	15.85	1	1
15	Univ Fed Minas Gerais	Brazil	27	7.44	24	7.17	3	9.67
15	Univ Fed Rio Grande do Sul	Brazil	27	9.07	27	9.07	0	0
18	Univ Idaho	USA	26	25.15	23	26.22	3	17.00
19	Kyoto Univ	Japan	25	57.52	23	60.74	2	23.00
19	Univ Fed Bahia	Brazil	25	19.48	20	23.40	5	3.80

CPPt = Citations per paper of total country papers, CPPs = Citations per paper of single country papers, CPPi = Citations per paper of international papers

식량 또는 식용작물(당분, 전분, 유지)로 옥수수, 사탕수수, 사탕무, 카사바, 대두, 유채, 팜유 등이고, 제 2세대 원료는 비식용작물-셀룰로오스(목재, 작물 부산물), 자트로파 등이고, 제 3세대 원료로는 해조류, 미세조류 등으로 구분할 수 있다. 이러한 변화는 바이오디젤의 원료로 식용작물이 이용되므로서 농산물의 가격이 급등하게 되어 이를 탈피하고, 농산물 가격 변동과 무관하게 원료물질을 대량 공급할 수 있는 해조류와 미세조류가 각광을 받게 되었다.

그러므로 바이오디젤 관련연구에서 가장 많이 인용된 논문은 2007년 *Biotechnol. Adv.* 저널에 발표된 "Biodiesel from microalgae"이었다. 이 논문에 출현한 키워드는 *biofuels; biodiesel; microalgae; photobioreactors; raceway ponds* 이었는데, 제 3세대 바이오연료에 대한 관심이 많음을 알 수 있다.

3.5. 바이오디젤 관련 논문의 키워드 분석

저자키워드를 분석한 결과 5,684개의 키워드가 4,144편의 논문에 사용되었다. 가장 많이 사용된 저자키워드는 *bio-diesel*이었으며, 전체 논문 가운데 2,461편(59.39%)에서 출현했다.

저자키워드에서 가장 많이 출현한 키워드에서 검색

키워드로 사용된 바이오디젤을 제외하면 *Transesterification*(708편, 17.08%)이다. 그 다음 *Lipase*(132편, 3.19%), *Esterification*(131편, 3.16%), *Diesel Engine*(119편, 2.87%)이 비슷하게 많이 사용되었는데, 이들 키워드의 사용빈도는 *Transesterification*에 비하면 현저히 적은 수치이다(Table 5).

2001년부터 2004년까지 발표된 141편의 논문에서 301개의 저자키워드가 사용되었고, 2005년부터 2008년 사이에 발표된 916편의 논문에서 저자키워드가 1,449개 사용되었다. 이 가운데 75%에 달하는 1,093개 저자키워드가 단 1회만 사용되었다. 2009년부터 2012년까지 발표된 3,009편의 논문에서 4,660개의 저자키워드가 사용되었으며, 74.4%에 달하는 저자키워드가 단 1회만 사용되었다. 단 한번만 사용된 저자키워드가 많다는 것은 바이오디젤 분야의 연구가 연속성이 결여되어 있거나, 다양한 분야에서 바이오디젤에 관해 연구되고 있음을 의미한다(Table 5).

차세대 바이오디젤은 근원적으로 낮은 온도에서도 안전성이 높아야 하며, 전통적인 바이오디젤과 같이 저장 또는 수송 중에 열화 되지 않아야 한다. 현재 바이오디젤 기술회사들은 식물성 기름에서 제조하는 바이오디젤보다 저비용으로 대량 생산할 수 있는 디젤 대

Table 5. Top 20 Author Keyword

No	Author keyword	2001-2013		2001-2004		2005-2008		2009-2012	
		Papers	%	Papers	%	Papers	%	Papers	%
1	Transesterification	708	17.1	25	17.7	152	16.6	514	17.1
2	Lipase	132	3.2	7	5.0	36	3.9	86	2.9
3	Esterification	131	3.2	1	0.7	29	3.2	98	3.3
4	Diesel Engine	119	2.9	5	3.5	31	3.4	83	2.8
5	Emissions	107	2.6	6	4.3	17	1.9	84	2.8
6	Glycerol	102	2.5	2	1.4	16	1.7	82	2.7
7	Diesel	94	2.3	6	4.3	21	2.3	65	2.2
8	Biofuel	91	2.2	2	1.4	18	2.0	70	2.3
9	Microalgae	88	2.1			1	0.1	86	2.9
10	Heterogeneous Catalyst	78	1.9			10	1.1	70	2.3
11	Methanolysis	75	1.8	12	8.5	27	2.9	36	1.2
12	Optimization	74	1.8	1	0.7	13	1.4	58	1.9
13	Ethanol	71	1.7			13	1.4	56	1.9
14	Fatty Acid Methyl Esters	68	1.6	5	3.5	18	2.0	45	1.5
15	Vegetable Oil	66	1.6	4	2.8	20	2.2	40	1.3
16	Biofuels	65	1.6	1	0.7	13	1.4	49	1.6
17	Biodiesel Fuel	60	1.4	15	10.6	10	1.1	34	1.1
18	Viscosity	60	1.4	3	2.1	19	2.1	38	1.3
19	Waste cooking oil	60	1.4	1	0.7	12	1.3	44	1.5
20	Fuel Properties	57	1.4			11	1.2	45	1.5

체품을 개발 중에 있다.

바이오디젤은 석유 기반인 경유의 대안으로 식물성 기름이나 동물성 지방과 같이 재생 가능한 자원을 바탕으로 제조된다. 화학적으로 바이오디젤은 긴 지방산 고리를 가진 단일 알킬 에스테르(mono alkyl ester) 혼합물이다. 본래 기름을 원하는 에스테르로 전환하고, 자유지방산을 제거하기 위해 지질 에스테르 교환반응이 이용된다. 이런 과정을 거치면, 바이오디젤은 비방향족 식물성 기름과는 달리 경유와 매우 비슷한 연료 특성을 갖기 때문에, 현재 많이 사용되고 있는 경유를 대체할 수 있다.

바이오디젤은 동결점이 경유보다 높아서(약 -5°C) 추운 기후에서 순수한 형태로 사용하는데 제약이 있다. 또한 5°C 이하에서는 유동성이 떨어져 연료 공급이 원활하지 못하다. 이러한 이유로 100%의 바이오디젤(BD100)을 사용하는 것보다 경유와 혼합하여 사용하게 된다.

경유와는 달리 바이오디젤은 미생물이 분해되어, 독성이 없으며, 연료로서 연소 될 때 독성이나 기타 배출물이 현저하게 적다. 메틸 에스테르를 제조하기 위해서는 대개 메탄올을 사용하지만, 에틸 에스테르 바이오디젤을 제조하는 데는 에탄올도 사용할 수 있다. 에스테르 교환과정의 부산물로 글리세롤이 생성된다.

150°C의 인화점을 가진 바이오디젤은 경유(64°C)에 비해 불이 잘 붙지 않고, 더구나 폭발하기 쉬운 휘발유(-45°C)보다는 안정적이다. 실제로 바이오디젤은 미국 산업안전보건청(OSHA)이 비가연성 액체로 분류하고 있다. 하지만 당연히 충분히 높은 온도가 되면 불이 붙는다. 이 같은 특성 때문에 순수 바이오디젤을 연료로 쓰는 차량은 사고에 더 안전하다.

바이오디젤은 기본적으로 식물성 기름을 의미하나 기술적으로는 모든 식용유나 폐식용유, 동물성 기름을 이용할 수 있으며, 100파운드의 식물성 기름과 10파운드의 메틸알코올을 반응시키면 100파운드의 바이오디젤과 부산물로 10파운드의 글리세린을 얻을 수 있다.

이 연구에서는 저자가 생성한 키워드와 함께 Keywords Plus를 함께 사용했다. 일반적으로 논문의 제목과 저자가 생성한 키워드는 논문의 주제에 관해 상세한 정보를 제공한다. Keyword Plus는 논문의 내용에 관한 정보를 풍부하게 제공한다. 따라서 Keywords Plus로부터 도출된 용어들을 결합함으로써 각 논문의 주제에 대해 더 많은 정보를 얻을 수 있고, 해당 분야에서 떠오르는 테마를 발견할 수 있다.

해당 연구 분야의 키워드로는 찾을 수 없지만 이 연구 분야의 발전에 기여하는 논문을 Keywords Plus를 사용해 찾아낼 수 있다. KeyWords Plus에서는 저자기

워드에서 출현하지 않은 용어인 free fatty-acids, methyl-esters가 사용되었으며, combustion, kinetics, rapeseed oil, soybean oil 등이 두드러지게 사용되었다(Table 6).

바이오디젤산업은 거의 모든 산업 국가로부터 관심을 받고 있으며, 세계에서 가장 성장성이 큰 산업으로 부상하고 있다. 바이오디젤의 원료는 (1) 식물성 유지(팜 오일, 쌀겨, 폐식용유, 대두유, 유채유 등), (2) 동물성 기름 및 (3) 폐식용유와 알코올을 반응시켜 만든 지방산 메틸에스테르로서 순도가 95% 이상이다.

바이오디젤 생산을 위한 원료 공급원은 각 지역이나 국가에서 입수가능성에 따라서 채택된다. 대부분의 경우 원료공급원으로서 대두유를 선택하고 있다. 그러나 대두유와 같은 식용 채종유들의 가격이 디젤연료 보다 더 높기 때문에, 가격이 낮은 폐 채종유와 비식용 채종유가 바이오디젤 원료 공급원으로서 선호되고 있다.

3.6. 바이오디젤 관련 논문의 주제 카테고리 분석

바이오디젤분야 논문은 54개 ISI 주제 카테고리에서 출현한다. 이들 중 상위 10개 카테고리는 Energy &

Table 6. Top 20 KeyWords Plus

No	KeyWords Plus	2001-2013		2001-2004		2005-2008		2009-2012	
		Papers	%	Papers	%	Papers	%	Papers	%
1	TRANSESTERIFICATION	935	22.6	15	10.6	208	22.7	691	23.0
2	SOYBEAN OIL	637	15.4	7	5.0	147	16.0	467	15.5
3	VEGETABLE-OILS	629	15.2	21	14.9	176	19.2	424	14.1
4	FUEL	538	13.0	16	11.3	127	13.9	384	12.8
5	OIL	498	12.0	10	7.1	101	11.0	379	12.6
6	ESTERS	371	9.0	24	17.0	106	11.6	237	7.9
7	RAPESEED OIL	304	7.3	11	7.8	95	10.4	190	6.3
8	PERFORMANCE	270	6.5	3	2.1	41	4.5	221	7.3
9	METHYL-ESTERS	262	6.3	3	2.1	68	7.4	181	6.0
10	METHANOL	243	5.9	3	2.1	41	4.5	195	6.5
11	OPTIMIZATION	235	5.7	1	0.7	26	2.8	198	6.6
12	BLENDS	234	5.6	2	1.4	40	4.4	188	6.2
13	FUEL PRODUCTION	229	5.5	7	5.0	76	8.3	144	4.8
14	EMISSIONS	227	5.5	4	2.8	45	4.9	173	5.7
15	WASTE COOKING OIL	210	5.1	-	-	37	4.0	166	5.5
16	COMBUSTION	208	5.0	5	3.5	47	5.1	152	5.1
17	VEGETABLE-OIL	206	5.0	6	4.3	48	5.2	142	4.7
18	FUELS	190	4.6	4	2.8	41	4.5	143	4.8
19	FREE FATTY-ACIDS	189	4.6	1	0.7	22	2.4	163	5.4
20	KINETICS	189	4.6	5	3.5	60	6.6	124	4.1

Table 7. Top 10 ISI Category of Biodiesel

Subject Category	2001-2003		2001-2004		2005-2008		2009-2012	
	Rank	Papers	Rank	Papers	Rank	Papers	Rank	Papers
Energy & Fuels	1	1,907	2	35	2	355	1	1,478
Engineering	2	1,870	1	43	1	419	2	1,375
Chemistry	3	1,027	5	27	3	258	3	720
Biotechnology & Applied Microbiology	4	730	3	34	4	139	4	550
Agriculture	5	561	4	33	5	109	5	416
Environmental Sciences & Ecology	6	426	8	17	6	91	6	314
Thermodynamics	7	228	10	5	9	30	7	182
Food Science & Technology	8	201			7	62	8	113
Biochemistry & Molecular Biology	9	164	7	19	8	41	9	100
Physics	10	71	11	4	12	16	12	48

Fuels와 Engineering이다. 지난 13년 동안 바이오디젤은 Chemistry, Biotechnology & Applied Microbiology, Agriculture 카테고리에서 꾸준히 연구되었다.

2000년대 초에는 Engineering 분야에서 바이오디젤 관련연구가 주로 이루어졌으나 2000년대 후반에는 Energy & Fuels 측면에서 바이오디젤 관련연구가 더 많이 이루어졌다. 2000년대 후반부터 Thermodynamics와 Food Science & Technology 측면에서 바이오디젤 연구가 증가했다. 반면에 Biochemistry & Molecular Biology, Physics 측면에서 접근은 2000년대 중반이후부터 감소하고 있다(Table 7).

4. 결 론

두 차례의 에너지 위기를 경험한 국가들은 에너지 자급률 제고, 농작물 수요증가를 통한 새로운 시장 형성, 온실가스 및 대기오염 물질 감축 등을 목적으로 바이오에너지를 개발하기 시작하였다. 우리나라의 경우에도 에너지 대외 의존도를 낮추기 위해 대체에너지 확보를 통한 에너지안보 전략이 절실한 실정이며, 바이오에너지 원료작물 생산을 통하여 침체된 농촌사회를 활성화 할 수 있는 방안으로 바이오에너지 활용이 대두되었다. 또한 2013년 이후 ‘교도의정서’상 이산화탄소 저감의무를 지게 될 가능성이 높기 때문에 바이오에너지의 활용은 필수 불가결한 상황이 되었다.

우리나라는 바이오에너지 시장의 지속적인 성장과 연구 성과에도 불구하고 아직 일부분의 핵심원천기술 등 기술경쟁력 미흡, 내수시장 창출의 한계, 세계시장을 선도하는 글로벌 기업부재, 기업 성장지원의 인프라가 취약하여 정부의 적극적인 지원이 필요하다.

바이오디젤 관련 연구는 논문 편수나 국제 공동연구 면에서나 미국이 선도적인 역할을 하고 있는 것으로 나타났다. 논문의 영향력은 단일 국가 논문은 일본이 가장 큰 것으로 나타났으며, 국제 공동연구 논문의 평균 영향력이 터키가 가장 높게 나타났다. 한편 한국의 경우 단독논문, 국제공동연구 논문의 영향력이 각기 10.71과 7.85로 세계 평균보다 훨씬 낮은 것으로 나타

나, 바이오에너지 생산원료 자원이 충분치 않아 원료 확보방안으로 국내자원의 활용, 해외농장 개척, 신규 바이오매스자원(해양 바이오매스)의 발굴 및 대량생산 기술 개발이 절실한 우리나라에서는 단독 연구뿐만 아니라 바이오에너지 자원이 풍부한 나라와의 공동 연구가 필요하다고 생각된다.

바이오연료의 생산원료자원은 풍부하지만 플랜트 기술이 없는 동남아시아, 아프리카 등에서 바이오연료 플랜트수요가 증가할 것으로 예상된다. 국내에서 투자비가 낮은 개발도상국형 바이오연료 생산 플랜트기술을 확보한다면 유망 수출 산업으로 육성 가능한 경제산업적 효과를 기대할 수 있을 것이다.

사 사

이 글(Review article)은 한국과학기술정보연구원(KISTI)이 수행하고 있는 미래창조과학부의 과학기술진흥기금과 복권기금 사업인 ‘고경력 과학기술인을 활용한 지원사업(ReSEAT Program)’의 일부이다. 심사과정에서 미비점을 꼼꼼하게 지적, 보완하여 준 교열사에게 깊이 감사드린다.

참고문헌

- BP Statistical Review of World Energy (2008)
 Brown Lester R. (2008) Mobilizing to Save Civilization, 495p.
 Brown Lester R. (2006) Rescuing a Planet under Stress & a Civilization in Trouble
 Global Biofuels Center (2010) Hart Energy Consulting
 Kil S.C., Kim S.W. and Oh M.S. (2011) Global Trends of Patents for Biodiesel, Korea Society of Economic and Environmental Geology, v.44, n.3, p.265-272.
 KEMCO, <http://www.kemco.or.kr>
 Choi J.H. (2012) Biodiesel, Naeha Publication Co., P1-804
 Web of Science, Science Citation Index Expanded(SCIE)
 OECD-FAO Agricultural Outlook 2011-2020. (2011)

2013년 9월 25일 원고접수, 2013년 11월 18일 1차수정, 2013년 12월 8일 게재승인