

국내 자동차용 경유 대체 연료로서 바이오디젤의 연료 품질 모니터링 분석 연구

김재동 · 임의순 · 연주민 · 도진우 · 김재곤[†]

한국석유관리원 미래기술연구소

A Study of Analysis on Monitoring of Biodiesel Fuel Quality Trend as a Alternative Fuel for Automotive Diesel in Korea

JAEDONG KIM, EUI-SOON YIM, JUMIN YEON, JIN-WOO DOE, JAE-KON KIM[†]

Research Institute of Future Technology, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority, 33 Yangcheon-gil, Ochang-eup, Cheongwon-gu, Cheongju 28115, Korea

[†]Corresponding author :
jkkim@kpetro.or.kr

Received 18 October, 2024
Revised 4 November, 2024
Accepted 18 November, 2024

Abstract >> Globally, biodiesel is mainly manufactured from animal and vegetable oils in the form of fatty acid methyl esters (FAMEs). It has been reported that the quality of biodiesel is strongly influenced by the feedstock. Therefore, in this paper, we have derived the quality characteristics of domestic biodiesel used as biofuel in automotive diesel through the analysis of 10 years of quality monitoring data. Domestic biodiesel is produced with adequate quality, satisfying both Korea and the EU in terms of fuel quality standards. Furthermore, since the implementation of the Renewable Fuel Standard (RFS) in 2015, it has been found that the mandatory blend ratio of automotive diesel is lower in winter (average 2.3 vol%) compared to summer (average 3.4 vol%) due to the lower fuel quality in winter.

Key words : Biodiesel(바이오디젤), Fatty acid methyl ester(지방산 메틸 에스테르) Transesterification(전이 에스테르 교환 반응), Renewable Fuel Standard(신재생에너지 연료 혼합 의무화), Fuel specification(품질 기준)

1. 서론

파리협정의 목표는 산업화 이전 대비 지구 평균 온도 상승을 2°C보다 훨씬 아래로 유지하고 나아가 1.5°C로 억제하기 위해 노력하여야 한다는 것이다. 한편 기후 변화에 관한 정부 간 협의체(Intergovernmental

Panel on Climate Change, IPCC)는 2018년 제48차 IPCC 총회에서 치열한 논의 끝에 「지구온난화 1.5°C 특별보고서」를 승인하고 파리협정 채택 시 합의된 1.5°C 목표의 과학적 근거를 마련하였다¹⁾. 따라서 전 지구적인 기후 변화 위기에 대응하는 목표 달성을 위하여 파리협정은 기후 변화 대응 정책의 장기적 비

전 관점에서 각국에게 장기 저탄소 발전 전략(long-term low greenhouse gas emission development strategy, LEDS)을 수립하여 제출하였다. 또한 국제에너지기구(International Energy Agency, IEA)는 2050년 탄소중립을 달성하기 위한 세계 에너지 부문 로드맵을 보고하였다^{2,3)}. 이 보고서에 따르면 2030년에 총 에너지 공급은 550 EJ로 감소할 것으로 전망하고 있으며 이는 2020년 대비 7% 감소한 것이다. 석유, 석탄 등 화석에너지에서 태양광, 풍력 및 전통적인 바이오에너지 등 재생에너지와 차세대 바이오연료, 수소 및 합성연료와 같은 새로운 에너지의 공급이 늘어날 것으로 전망하고 있다^{4,5)}.

국내에서도 2030 국가 온실가스 감축목표(2030 national determined contribution, NDC)에서 수송 부문(도로, 해운, 항공) 감축 목표는 2018년 9,810만 톤 대비 37.8%가 감축된 6,100만 톤으로 설정하였다⁶⁾. 도로 수송 분야에 대해서는 대중교통의 이용 편의성 제고, 연계 교통 강화, 철도 중심 교통 체계 강화, 운행 제한 제도 확대 등을 통해 2030년에는 2018년 대비 자동차 주행거리를 4.5% 감축하고 2030년까지 전 기차 및 수소차 450만 대 등 친환경차 보급 확대로 약 29.7백만 톤 감축하며 자동차 탄소포인트제, 친환경 운전 활성화 등 행태 개선을 통한 에너지 절감, 바이오디젤 혼합률 8%까지 상향 등의 계획을 제시하였다⁶⁾.

전 세계적으로 바이오디젤은 주로 지방산 메틸 에스테르(fatty acid methyl ester, FAME) 형태로 제조하여 경유 대체 연료로 일반적으로 자동차용 7%와 선박용 100%까지 연료 품질 기준에 적합할 경우 사용 가능하다. 또한 바이오연료로서 바이오디젤은 탄소중립 연료로 해당 국가에서 소비한 양만큼 탄소 배출량에서 감축을 인정받고 있다. 한편 바이오디젤은 일반 경유에서 배출되는 CO₂, SO₂, CO, HC, particulate matter (PM) 등의 실제 배출가스가 저감되나 NO_x 배출이 다소 높고 유동점 및 운점이 높아 겨울철에 저온 특성에 보완해야 하는 문제를 가지고 있다⁷⁻¹⁰⁾.

바이오디젤의 원료는 350여 종 이상이 연구되었으

며 대두유, 팜유, 해바라기(sunflower)유, 면실(cottonseed)유, 카놀라(canola)유 등이 1세대 원료로 보고되고 있다. 최근에는 비식용인 폐식용유 등 2세대 원료와 미세조류 등 3세대 원료가 지속 가능성 기준에 부합하고 탄소 감축 효과가 커서 해당 원료 위주로 사용이 증가하고 있다¹¹⁻¹⁴⁾.

전 세계적으로 바이오디젤은 주로 산 또는 염기 촉매 하에서 메탄올과 식물성 유지와 동물성 지방의 전이 에스테르 교환 반응(transesterification) 공정을 통해 상업적으로 주로 생산되고 있다. 최근에는 친환경 기술인 마이크로파(microwave), 초음파(ultrasound), 생촉매(enzymatic catalyst) 및 막 반응기(membrane reactor)가 적용되고 있기도 하다¹⁵⁻²⁰⁾. 일반적인 전이 에스테르 교환 반응식과 생산 공정을 Figs. 1, 2에 나타내었다¹⁵⁾.

국내 바이오디젤은 2002년부터 시범 보급사업을 통해 도입되어 2006년 수송용 바이오연료 중 가장 먼저 전국 단위로 상용화가 되었는데 초기는 자동차용 경유에 0.5% 혼합되어 사용되었다. 제4차 신재생에너지 기본 계획에서 수송 부문 신재생에너지 연료 혼합 의무화 제도(Renewable Fuel Standard, RFS)가 ‘신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법(이하

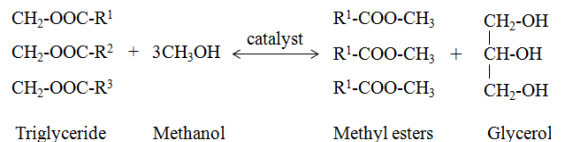


Fig. 1. General equation for transesterification of triglyceride in the presence of methanol

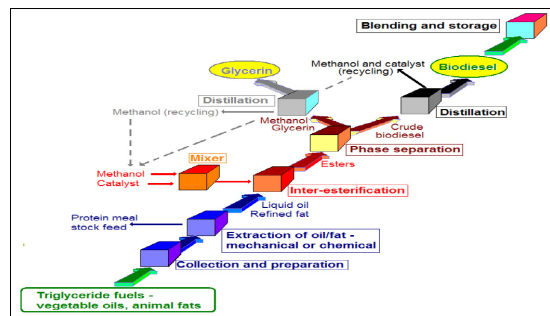


Fig. 2. General production process of biodiesel

신재생에너지법’에 근거하여 2015년 7월 31일부터 전면 도입되었다. RFS 제도에 따라 바이오디젤 중장기 의무 혼합 비율은 2015년 7월 31일 2.5%로 시작하여 2030년 5.0%까지로 규정되어 있다(Table 1)²¹⁾.

국내 바이오디젤 생산은 현재 동남아시아의 팜유 부산물 등의 수입 원료가 약 69%, 폐식용유(used cooking oil, UCO)와 동물성 유지(animal fat) 등의 국산 원료가 약 31% 수준으로 사용되고 있으며 수입 원료 비중이 높아 경제성 제고를 위해서는 새로운 지속 가능한 원료 공급망 확보가 중요시되고 있다(Table 2)²²⁾. 한편 국내 바이오디젤 제조 업체에서는 산 또는 염기 촉매를 사용한 전이 에스테르 교환 반응을 7개 업체, 무촉매 고온·고압 공정 및 초임계 반응을 각각 1개 업체가 사용하여 생산되고 있다. 국내에서 생산하여 소비된 바이오디젤의 보급량은 2022년 기준 82.3만 kL 수준으로 2015년 RFS 제도 도입 대비 약 3.67배로 증가하였다.

국내 바이오디젤의 품질 관리는 ‘석유 및 석유대체연료 사업법(석유사업법)’의 ‘석유대체연료의 품질 기준과 검사방법 및 검사수수료에 관한 고시(산업통상자원부 고시 제2019-35호)²³⁾에서 제시된 바이오디젤의 품질 기준에 따라 적정 품질을 확보하여 공급하도록 규정하고 있다. 또한 바이오디젤은 ‘석유제품의 품질기준과 검사방법 및 검사수수료에 관한 고

시(산업통상자원부 고시 제2024-70호)²⁴⁾에 따라 자동차용 경유에 겨울철(2 vol% 이상, 5 vol% 이하)을 제외하고는 2 vol% 이상, 7 vol% 이하로 혼합하여 사용하도록 규정하고 있다.

바이오디젤의 품질은 동·식물성 유지의 다양한 지방산 조성에 따라 물성이 크게 좌우되는 것으로 보고되고 있다²⁵⁾. 바이오디젤의 품질을 결정하는 요소로는 동점도, 인화점, 필터 막힘점(cold filter plugging point, CFPP), 유동점, 세탄가, 전산가, 잔류탄소가 있으며 혼합 연료 특성을 결정하는 FAME 함량, 글리세라이드 함량 등으로 나눌 수 있다. 이 중에서

Table 3. Biodiesel specification limits for B100¹⁵⁾

Properties	Unit	Korea	EU	US
Cetane number	-	-	min. 51	min. 45
FAME content	wt%	min. 96.5	min. 96.5	-
Sulfur content	mg/kg	max. 10	max. 10	max. 15/500
Density (15°C)	kg/m ³	860-900	860-900	-
Viscosity (40°C)	mm ² /s	1.9-5.0	3.5-5.0	1.9-6.0
Flash point	°C	min. 120	min. 101	min. 130
Carbon residue	wt%	max. 0.1	-	max. 0.05
Water & sediment	vol%	-	-	max. 0.05
Water content	mg/kg	max. 500	max. 500	-
Ash content	wt%	max. 0.01	max. 0.02	max. 0.02
Total contamination	mg/kg	max. 24	max. 24	-
Copper strip corrosion (50°C, 3 h)	-	max. Class 1	max. Class 1	max. No.3
Acid value	mg KOH/g	max. 0.5	max. 0.5	max. 0.5
Methanol content	wt%	max. 0.2	max. 0.2	max. 0.2
Monoglyceride content	wt%	max. 0.8	max. 0.7	-
Diglyceride content	wt%	max. 0.2	max. 0.2	-
Triglyceride content	wt%	max. 0.2	max. 0.2	-
Free glycerol	wt%	max. 0.02	max. 0.02	max. 0.02
total glycerol	wt%	max. 0.24	max. 0.25	max. 0.24
Linolenic acid methyl ester	wt%	-	max. 12	-
Polyunsaturated (≥ 4 double bonds) methyl ester	wt%	-	max. 1	-
Iodine value	g I/100 g	-	max. 120	-
Phosphorus content	mg/kg	max. 10	max. 4	max. 10
Metal (Na+K)	mg/kg	max. 5	max. 5	max. 5
Metal (Ca+Mg)	mg/kg	max. 5	max. 5	max. 5
CFPP	°C	max. 0	-	-
Oxidation stability	h	min. 6	min. 8	min. 3

Table 1. Biodiesel mandatory blending ratio of RFS policy in Korea

2015. 7. 31-2017	2018-2021. 6. 30	2021. 7. 1-2023
2.5%	3.0%	3.5%
2024-2026	2027-2029	2030-
4.0%	4.5%	5.0%

Table 2. Feedstocks for biodiesel production in Korea (2013-2022)

Used cooking oil	Palm byproduct	Palm RBD
28.8% (domestic) 5.7% (import)	42.3% (import)	16.0% (import)
Animal fats	Soybean	Others
2.9% (domestic) 0.2% (import)	1.5% (import)	0.6% (domestic) 2.0% (import)

세계적으로 바이오디젤 품질을 결정하는 주요 요소는 FAME 함량으로 유럽과 한국은 96.5 wt% 이상이다. 일반적으로 탄소 개수가 증가하면 동점도, 세탄가, 인화점, 유동점 및 밀도가 증가한다. 또한 이중결합 수가 증가할수록 동점도, 세탄가, 유동점은 낮아지며 산화 안정성 또한 낮아지는 특성을 보인다²⁵⁻³¹⁾.

바이오디젤은 디젤 엔진에 사용되는 연료, 특히 자동차용 경유에 혼합되어 사용되기 때문에 엔진의 성능이 보장되어야 하고 배출가스에 의한 환경오염 문제가 없어야 하며 저장 시 안전성이 확보되어야 하기 때문에 바이오디젤을 사용하는 국가들은 자국에서 조달이 가능한 원료를 기초로 하여 품질 기준을 마련하고 있다. 바이오디젤의 품질 기준은 미국의 ASTM D6751과 유럽의 EN 14214가 있으며 세계적으로 널리 사용되고 있다. Table 3은 국내외 바이오디젤(B100)의 품질 기준을 나타내었다^{15,25)}.

국내 바이오디젤은 상용화 초기 대두유 등 식용 원료를 사용하여 제조하다가 바이오디젤의 제조사가 원료 원가 절감을 위하여 저급 원료 사용 확대를 위한 전처리 기술을 도입한 후 폐식용유 등 비식용 원료로 다양화하여 생산되고 있으나 이에 따른 국내 상용 바이오디젤의 품질과 연료 특성에 대한 연구 사례가 없다.

이에 따라 본 논문에서는 자동차용 경유의 바이오

연료로 사용되고 있는 국내 상용 바이오디젤의 10년 동안의 원료와 연료 특성 모니터링 데이터 분석을 통해 품질 특성을 도출하였다.

2. 데이터 수집

2.1 바이오디젤의 원료 데이터 수집

본 연구에서 사용한 바이오디젤 원료 데이터는 (사)한국바이오에너지협회 회원사 5개사와 비회원사 2개사의 2013년부터 2022년까지 10년 동안의 원료 수급 데이터를 사용하였다(Fig. 3)²²⁾. 바이오디젤은 원료에 따라 품질 특성에 영향을 많이 받는데 자세히 살펴보면 팜 부산물, 팜 정제유와 폐식용유가 대부분을 차지하고 있다(Fig. 4). 팜유에는 팔미트산 등 포화지방산이 많이 포함되어 있어 산화 안정도 특성이 우수하다. 이에 반해 폐식용유에는 올레인산, 리놀레산과 같은 불포화지방산이 많이 포함되어 있어 저온 특성이 비교적 유리하다. 하지만 불포화지방산이 많을수록 산화 안정도에 불리하여 tertiary butyl hydroquinone (TBHQ) 등의 첨가제를 이용하여 극복해야 한다. 여름철에는 팜유와 같은 원료를 사용하고 겨울철에는 폐식용유와 같은 원료를 사용하는 것으로 알려져 있다. 대표적인 원료별 바이오디젤 조성 분포와 품질 특성을 Table 4에 나타내었다.

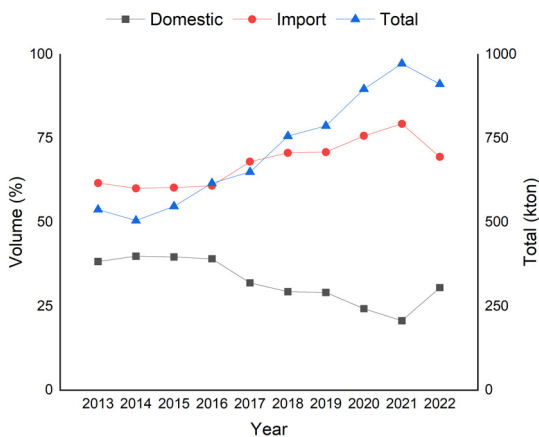


Fig. 3. Domestic and import ratio and total amount of feedstocks in 2013-2022

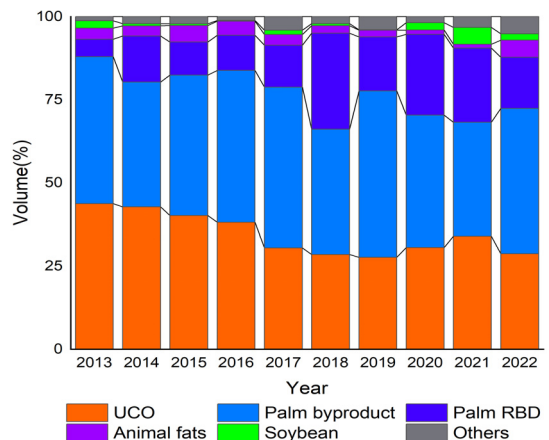


Fig. 4. Feedstocks distribution for biodiesel in 2013-2022

2.2 바이오디젤의 품질 모니터링 데이터 수집

본 연구에서 사용한 바이오디젤의 품질 모니터링 데이터는 2013년부터 2022년 10년 동안의 품질 모니터링 데이터 1,063건을 사용하였다. 바이오디젤의 품질 모니터링 데이터는 석유사업법에 근거하여 매월 품질검사를 받는 국내 바이오디젤 제조 회사 7개사를 대상으로 하였다. 검사 시 석유사업법의 ‘석유대체연료의 품질기준과 검사방법 및 검사수수료에 관한 고시(산업통상자원부 고시 제2019-35호)’에서 제시된 바이오디젤의 품질 기준 22개 항목과 시험 방법을 적용하였다(Table 5).

2.3 자동차용 경유의 바이오디젤(FAME) 혼합 함량 품질 모니터링 데이터 수집

국내 자동차용 경유는 석유사업법에 따라 석유 정제 업자인 정유사 5개사를 대상으로 매월 법정 의무 품질검사를 시행하고 있다. 본 연구에서 사용한 자동차용 경유에 혼합된 바이오디젤(FAME) 혼합 함량에 대한 품질 모니터링 데이터는 2013년부터 2022년까지 10년 동안의 법정 의무 품질검사 데이터 598건을 사용하였다.

3. 결과 및 분석

3.1 바이오디젤의 품질 모니터링 데이터 분석 결과

본 연구에서 수집한 바이오디젤의 품질 특성을 연도별로 비교하여 살펴보았다(Table 6). FAME 함량은 품질을 결정하는 주요 요소이며 98.0-98.4 wt%로

분석되었고 평균 98.3 wt%로 품질 기준인 96.5 wt% 이상인 것으로 나타났다. 최근 3개년을 살펴보면 평균 98.3 wt%로 나타났다. 인화점은 취급과 화재 위험성과 연관된 항목으로 품질 기준인 120°C 이상을 만족하며 평균 174°C로 나타났고 172°C부터 176°C까지 나타났다. 최근 3개년을 살펴보면 평균 175°C로 나타났다. 동점도는 제품의 점도를 말하며 평균 4.3 mm²/s로 나타났으며 4.2 mm²/s부터 4.4 mm²/s까지 나타났다. 품질 기준인 1.9-5.0 mm²/s를 만족하였으며 최근 3개년을 살펴보면 평균 4.3 mm²/s로 나타났다. CFPP는 바이오디젤의 저온 특성을 결정하는 주요 요소로 혹한기(11월 15일부터 다음 해 2월 28일까지)에 적용되는 항목이다. 영하 3°C부터 영하 2°C까지 나타났으며 평균 영하 2°C로 분석되어 품질 기준인 0°C 이하를 만족하였다. 최근 3개년을 살펴보면 평균 -2°C로 나타났다.

Table 5. Biodiesel specification limits and test method for fuel monitoring data of B100²⁴⁾

Properties	Unit	Limit	Test method
FAME content	wt%	min. 96.5	EN 14103
Sulfur content	mg/kg	max. 10	KS M 2027
Density (15°C)	kg/m ³	860-900	KS M 2002
Kinematic viscosity (40°C)	mm ² /s	1.9-5.0	KS M ISO 3104
Flash point	°C	min. 120	KS M ISO 2719
Carbon residue	wt%	max. 0.1	KS M ISO 10370
Water content	wt%	max. 0.05	KS M ISO 12937
Ash content	wt%	max. 0.01	KS M ISO 6245
Total contamination	mg/kg	max. 24	EN 12662
Copper strip corrosion (50°C, 3 h)	-	max. Class 1	KS M ISO 2160
Acid value	mg KOH/g	max. 0.5	KS M ISO 6618
Methanol content	wt%	max. 0.2	EN 14110
Monoglyceride content	wt%	max. 0.8	KS M 2412
Diglyceride content	wt%	max. 0.2	KS M 2412
Triglyceride content	wt%	max. 0.2	KS M 2412
Free glycerol	wt%	max. 0.02	KS M 2412
Total glycerol	wt%	max. 0.24	KS M 2412
Phosphorus content	mg/kg	max. 10	EN 14107
Metal (Na+K)	mg/kg	max. 5	EN 14108, EN 14109
Metal (Ca+Mg)	mg/kg	max. 5	EN 14538
Oxidation stability	h	min. 6	EN 14112
CFPP	°C	max. 0	KS M 2411

Table 4. Distribution of biodiesel composition by feedstocks

	Myristic (C14:0)	Palmitic (C16:0)	Stearic (C18:0)	Oleic (C18:1)	Linoleic (C18:2)	Linolenic (C18:3)
Palm oil	-	35.1	8.2	47.7	7.7	0.3
UCO	-	6-10	2-5	20-30	50-60	5-11
Animal fat	3-6	24-32	20-25	37-43	2-3	-

Table 6. Biodiesel specification for fuel monitoring data of B100

Properties	Limit	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Average
FAME content (wt%)	96.5 min.	98.3	98.4	98.0	98.3	98.5	98.6	98.5	98.0	97.7	98.3	98.3
Flash point (°C)	120 min.	171	171	176	174	176	176	178	175	170	173	174
Kinematic Viscosity (40°C, mm ² /s)	1.9-5.0	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.2	4.3
Carbon residue (wt%)	0.1 max.	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Sulfur content (mg/kg)	10 max.	2	2	3	2	2	2	2	3	4	3	2
Ash content (wt%)	0.01 max.	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Copper strip corrosion	1 max.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
CFPP (°C)	0 max.	-2	-2	-2	-4	-3	-3	-3	-1	-1	-2	-2
Density (15°C, kg/m ³)	860-900	878	878	879	879	879	879	878	879	879	878	879
Water content (wt%)	0.05 max.	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02
Total contamination (mg/kg)	24 max.	5	6	8	5	5	4	5	8	6	7	6
Total acid number (mg KOH/g)	0.50 max.	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Total glycerol (wt%)	0.24 max.	0.07	0.08	0.11	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08
Monoglyceride (wt%)	0.80 max.	0.24	0.29	0.38	0.26	0.26	0.25	0.25	0.26	0.23	0.25	0.27
Diglyceride (wt%)	0.20 max.	<0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	<0.01	0.01	0.01
Triglyceride (wt%)	0.20 max.	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	<0.01	<0.01	0.01	0.01
Free glycerol (wt%)	0.02 max.	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	<0.01	0.01	0.01	0.01
Oxidation stability (110°C, h)	6 min.	18	21	17	24	29	25	33	32	35	33	27
Methanol content (wt%)	0.2 max.	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Alkali metal content (mg/kg)	Na + K	5 max.	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
	Ca + Mg	5 max.	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Phosphorus content (mg/kg)	10 max.	<1	<1	<1	1	1	1	<1	1	1	<1	<1

밀도는 같은 기간 평균 879 kg/m³로 876 kg/m³부터 880 kg/m³까지 분석되었다. 최근 3개년을 살펴보면 평균 879 kg/m³로 나타났다. 수분은 평균 0.02 wt%로 나타났으며 0.02 wt%부터 0.03 wt%까지 분석되었다. 최근 3개년을 살펴보면 평균 0.02 wt%로 나타났다. 고형 불순물은 평균 7 mg/kg로 나타났으며 5 mg/kg부터 9 mg/kg까지 나타났다. 최근 3개년을 살펴보면 평균 6 mg/kg로 나타났다. 전산가를 살펴보면 0.3 mg KOH/g으로 분석되어 품질 기준인 0.5 mg KOH/g을 만족하는 것으로 나타났다.

그 외에도 잔류탄소분은 해당 기간 평균 0.1 wt% 미만으로 품질 기준인 0.1 wt%를 만족하였다. 황 함량은 품질 기준인 10 mg/kg보다 낮은 평균 3 mg/kg으로 나타났다. 회분은 해당 기간 평균 0.01 wt% 이하로 분석되어 품질 기준을 만족하는 것으로 나타났

다. 동판부식은 평균 1로 분석되어 품질 기준을 만족하였다. 따라서 국내 바이오디젤은 대부분 품질 기준에 따라 일정한 품질을 유지하며 생산되고 있다는 것을 확인할 수 있었다. 품질 모니터링 주요 항목은 다음과 같이 그래프로 나타내었다(Figs. 5-8).

2013년부터 2022년까지 월별 바이오디젤(B100)의 품질 특성을 살펴보면 여름에 동점도가 높고 인화점이 낮은 경향을 나타내었다(Figs. 9-11). 이는 계절별 자동차용 경유의 바이오디젤 혼합량 및 원료에 따라 물성에 영향을 미친 것으로 판단된다. 겨울철에는 저온 특성이 상대적으로 유리한 폐식용유를 원료로 하여 바이오디젤을 생산하는 것으로 알려져 있다. 폐식용유의 주요 지방산 조성인 올레인산(C18:1)과 리놀레산(C18:2)은 여름철에 주로 사용하는 팜유의 주요 지방산 조성인 팔미트산(C16:0)보다 밀도가 높다.

따라서 겨울철에는 밀도가 상대적으로 높은 특성을 보이며 여름철에는 밀도가 상대적으로 낮은 경향을 보이는 것으로 판단된다.

인화점은 밀도와 유사하게 겨울철이 여름철보다 높은 경향을 나타낸다. 동점도는 점도를 밀도로 나눈 값으로 밀도와 밀접한 관련이 있는 값이며 겨울철에는 밀도가 증가하기 때문에 낮아지며 여름철에는 반대로 높아지는 경향을 보이는 것으로 나타났다.

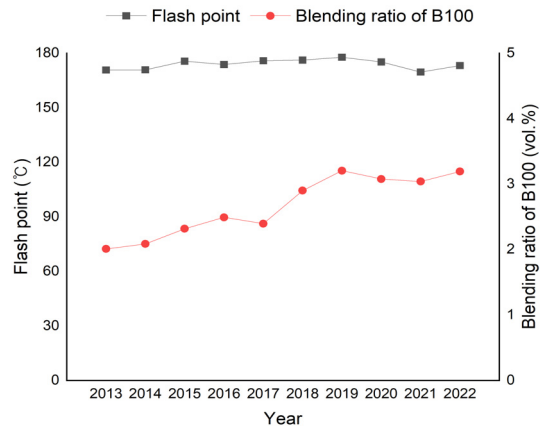


Fig. 7. Flash point for fuel monitoring data of B100 in 2013-2022

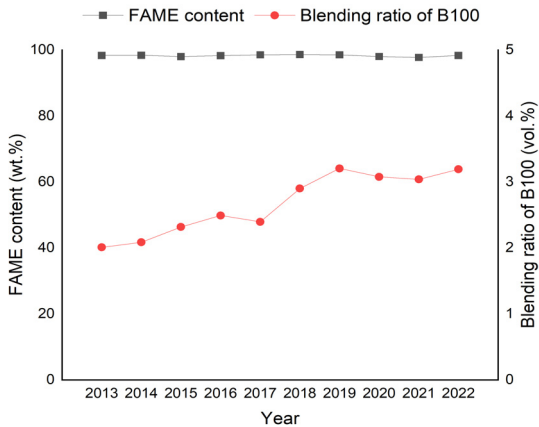


Fig. 5. FAME content for fuel monitoring data of B100 in 2013-2022

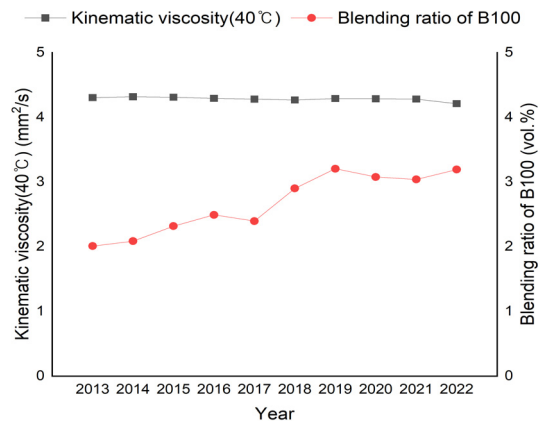


Fig. 8. Kinematic viscosity for fuel monitoring data of B100 in 2013-2022

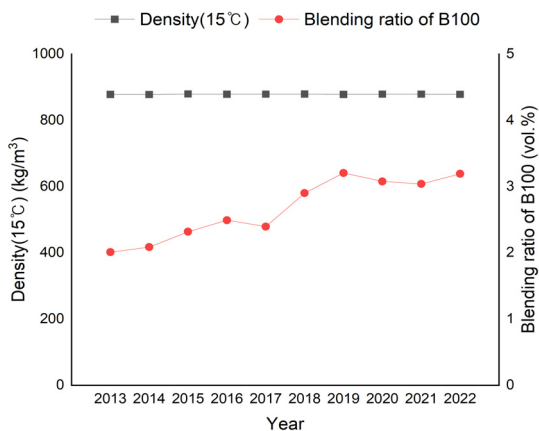


Fig. 6. Density for fuel monitoring data of B100 in 2013-2022

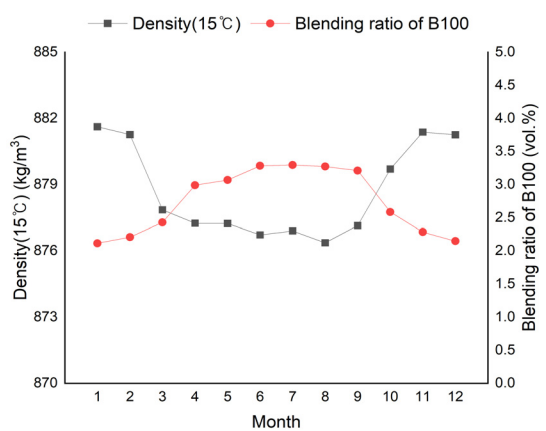


Fig. 9. Density of B100 by month in 2013-2022

3.2 자동차용 경유의 바이오디젤(B100) 혼합 함량 품질 모니터링 데이터 분석 결과

본 연구에서 수집한 자동차용 경유의 바이오디젤(B100) 혼합 함량 데이터는 석유사업법의 ‘석유제품의 품질기준과 검사방법 및 검사수수료에 관한 고시(산업통상자원부 고시 제2024-70호)’에서 제시된 자동차용 경유의 품질 기준에 제시된 시험평가 데이터로 이를 Fig. 12로 나타내었다.

또한 10년 동안 월별 자동차용 경유의 바이오디젤(B100) 혼합 비율을 살펴보면 ‘석유제품의 품질기준과 검사방법 및 검사수수료에 관한 고시(산업통상자

원부 고시 제2024-70호)’에 따른 품질 기준(2-5 vol%) 범위 내에서 겨울철보다 여름철에 혼합 비율이 높은 경향을 나타냈다. 여름철(3-10월)에는 평균 2.9 vol%로 분석되었으며 겨울철(11-2월)에 비교적 낮은 평균 2.2 vol%의 혼합 비율로 분석되었다. 최근 3개년을 살펴보면 여름철에는 3.4 vol%, 겨울철에는 2.3 vol%로 나타났다. 2022년의 여름철에는 석유정제업자별로 2.0 vol%에서 4.9 vol%까지 넓은 범위에서 혼합하는 것으로 나타났다.

4. 결론

본 논문에서는 자동차용 경유의 바이오연료로 사용되고 있는 국내 바이오디젤의 10년 동안의 품질 모니터링 데이터 분석을 통해 품질 특성을 도출하였다. 국내 바이오디젤 제조사에서 생산된 상용 바이오디젤(B100)은 석유사업법의 품질 기준을 모두 만족하는 품질을 보여 주고 있으며 특히 바이오디젤의 품질 척도인 FAME 함량은 평균 98.3 vol%를 보여 주고 있다. 또한 미국의 ASTM D6751과 유럽의 EN 14214 품질 기준도 충족하고 있는 것으로 분석되었다. RFS 제도가 도입된 2015년 이후 자동차용 경유

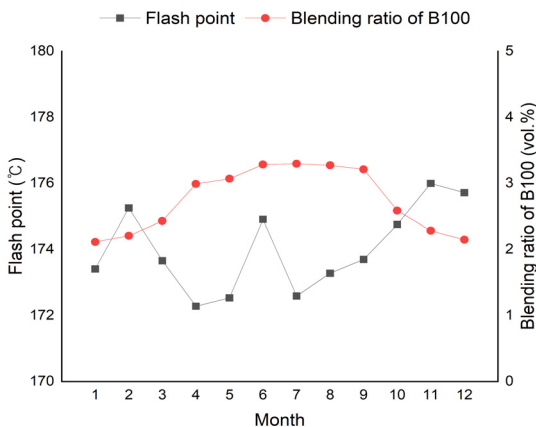


Fig. 10. Flash point of B100 by month in 2013-2022

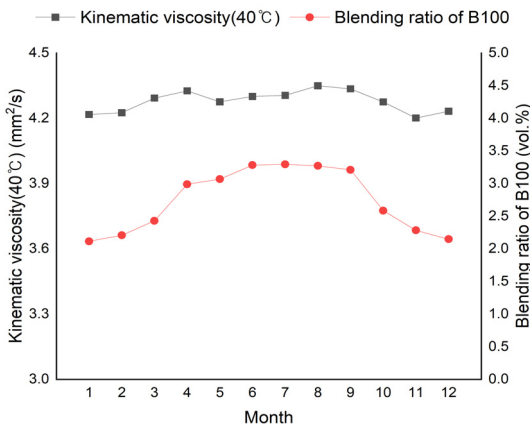


Fig. 11. Kinematic viscosity of B100 by month in 2013-2022

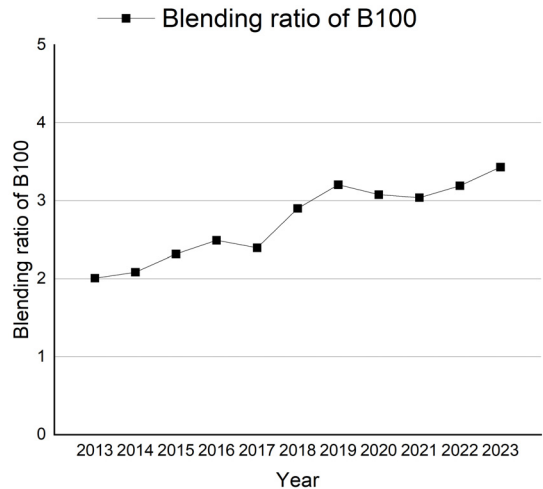


Fig. 12. Average blending ratio of B100 for automotive diesel in 2013-2022

에 바이오디젤이 혼합되는 비율은 혹한기 겨울철에는 차량의 저온 성능을 고려하여 평균 2.2 vol%로 사용되고 있다. 특히 여름철에는 3.4 vol%, 겨울철에는 2.3 vol%로 나타났다. 2022년의 여름철에는 석유정제업자별로 2.0 vol%에서 4.9 vol%까지 넓은 범위에서 혼합하는 것으로 나타났다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(과제 번호: 2021010000001A).

References

1. R. J. Brecha, G. Ganti, R. D. Lamboll, Z. Nicholls, B. Hare, J. Lewis, M. Meinshausen, M. Schaeffer, C. J. Smith, and M. J. Gidden, "Institutional decarbonization scenarios evaluated against the Paris Agreement 1.5°C goal", *Nature Communications*, Vol. 13, 2022, pp. 4304, doi: <https://doi.org/10.1038/s41467-022-31734-1>.
2. K. Trout, G. Muttitt, D. Lafleur, T. Van de Graaf, R. Mendelevitch, L. Mei, and M. Meinshausen, "Existing fossil fuel extraction would warm the world beyond 1.5°C", *Environmental Research Letters*, Vol. 17, No. 6, 2022, pp. 064010, doi: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac6228>.
3. S. I. Zandalinas, D. Balfagón, A. Gómez-Cadenas, and R. Mittler, "Plant responses to climate change: metabolic changes under combined abiotic stresses", *Journal of Experimental Botany*, Vol. 73, No. 11, 2022, pp. 3339-3354, doi: <https://doi.org/10.1093/jxb/erac073>.
4. T. G. Ambaye, M. Vaccari, A. Bonilla-Petriciolet, S. Prasad, E. D. van Hullebusch, and S. Rtimi, "Emerging technologies for biofuel production: a critical review on recent progress, challenges and perspectives", *Journal of Environmental Management*, Vol. 290, 2021, pp. 112627, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112627>.
5. S. Prasad, A. Singh, N. E. Korres, D. Rathore, S. Sevda, and D. Pant, "Sustainable utilization of crop residues for energy generation: a life cycle assessment (LCA) perspective", *Bioresource Technology*, Vol. 303, 2020, pp. 122964, doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122964>.
6. Presidential Commission Carbon Neutrality and Green Growth, "2030 nationally determined contribution", Presidential Commission Carbon Neutrality and Green Growth, 2023. Retrieved from <https://www.2050cnc.go.kr/base/contents/view?contentsNo=59&menuLevel=2&menuNo=109>.
7. A. H. Demirbas and I. Demirbas, "Importance of rural bio-energy for developing countries", *Energy Conversion and Management*, Vol. 48, No. 8, 2007, pp. 2386-2398, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2007.03.005>.
8. F. Ma and M. A. Hanna, "Biodiesel production: a review", *Bioresource Technology*, Vol. 70, No. 1, 1999, pp. 1-15, doi: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00025-5](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00025-5).
9. L. Lin, Z. Cunshan, S. Vittayapadung, S. Xiangqian, and D. Mingdong, "Opportunities and challenges for biodiesel fuel", *Applied Energy*, Vol. 88, No. 4, 2011, pp. 1020-1031, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.09.029>.
10. I. M. Atadashi, M. K. Aroua, and A. A. Aziz, "High quality biodiesel and its diesel engine application: a review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 14, No. 7, 2010, pp. 1999-2008, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.03.020>.
11. P. Cao, M. A. Dubé, and A. Y. Tremblay, "High-purity fatty acid methyl ester production from canola, soybean, palm, and yellow grease lipids by means of a membrane reactor", *Biomass and Bioenergy*, Vol. 32, No. 11, 2008, pp. 1028-1036, doi: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.01.020>.
12. O. Kibazohi and R. S. Sangwan, "Vegetable oil production potential from *Jatropha curcas*, *Croton megalocarpus*, *Aleurites moluccana*, *Moringa oleifera* and *Pachira glabra*: assessment of renewable energy resources for bio-energy production in Africa", *Biomass and Bioenergy*, Vol. 35, No. 3, 2011, pp. 1352-1356, doi: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.12.048>.
13. M. M. Gui, K. T. Lee, and S. Bhatia, "Feasibility of edible oil vs. non-edible oil vs. waste edible oil as biodiesel feedstock", *Energy*, Vol. 33, No. 11, 2008, pp. 1646-1653, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2008.06.002>.
14. A. Murugesan, C. Umarani, T. R. Chinnusamy, M. Krishnan, R. Subramanian, and N. Neduzchezham, "Production and analysis of bio-diesel from non-edible oils-a review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 13, No. 4, 2009, pp. 825-834, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.02.003>.
15. J. Y. Park, C. H. Jeon, J. K. Kim, and C. K. Park, "A review of microwave-assisted technology for biodiesel production", *Journal of Hydrogen and New Energy*, Vol. 28, No. 5, 2017, pp. 584-599, doi: <https://doi.org/10.7316/KHNES.2017.28.5.584>.
16. Z. Qiu, L. Zhao, and L. Weatherley, "Process intensification technologies in continuous biodiesel production", *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, Vol. 49, No. 4, 2010, pp. 323-330, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cep.2010.03.005>.
17. S. H. Shuit, Y. T. Ong, K. T. Lee, B. Subhash, and S. H. Tan, "Membrane technology as a promising alternative in biodiesel production: a review", *Biotechnology Advances*,

- Vol. 30, No. 6, 2012, pp. 1364-1380, doi: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2012.02.009>.
18. W. Suryaputra, I. Winata, N. Indraswati, and S. Ismadji, "Waste capiz (*Amusium cristatum*) shell as a new heterogeneous catalyst for biodiesel production", *Renewable Energy*, Vol. 50, 2013, pp. 795-799, doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.08.060>.
 19. A. Demirbas, "Progress and recent trends in biodiesel fuels", *Vol. 50, No. 1, 2009*, pp. 14-34, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.09.001>.
 20. M. Santaraitė, E. Sendzikiene, V. Makareviciene, and K. Kazancev, "Biodiesel production by lipase-catalyzed in situ transesterification of rapeseed oil containing a high free fatty acid content with ethanol in diesel fuel media", *Energies*, Vol. 13, No. 10, 2020, pp. 2588, doi: <https://doi.org/10.3390/en13102588>.
 21. Ministry of Trade, Industry and Energy, "Enforcement Decree of the Act on the Development, Use, and Diffusion of New and Renewable energy", Korean Law Information Center, 2023. Retrieved from <https://www.law.go.kr/%EB%B2%95%EB%A0%B9/%EC%8B%A0%EC%97%90%EB%84%88%EC%A7%80%EB%B0%8F%EC%9E%AC%EC%83%9D%EC%97%90%EB%84%88%EC%A7%80%EA%B0%9C%EB%B0%9C%E3%86%8D%EC%9D%B4%EC%9A%A9%E3%86%8D%EB%B3%B4%EA%B8%89%EC%B4%89%EC%A7%84%EB%B2%95%EC%8B%9C%ED%96%89%EB%A0%B9>.
 22. Korea Bio-energy Association (KBEA), "Biodiesel annual statistics", KBEA, 2013. Retrieved from http://kbea.or.kr/site/data/data?bo_id=databrdr&ar_id=1&sc_field=&sc_keyword=&sc_category=&page=1&request_url=../../site/data/data.
 23. Ministry of Trade, Industry and Energy, "Notice on quality standards, inspection methods and inspection fee for alternative fuels (No. 2019-35) in Petroleum and Alternative Fuel Business Act", Korean Law Information Center, 2019. Retrieved from <https://www.law.go.kr/%ED%96%89%EC%A0%95%EA%B7%9C%EC%B9%99%EC%84%9D%EC%9C%A0%EB%8C%80%EC%B2%B4%EC%97%B0%EB%A3%8C%EC%9D%98%20%ED%92%88%EC%A7%88%EA%B8%B0%EC%A4%80%EA%B3%BC%20%EA%B2%80%EC%82%AC%EB%B0%A9%EB%B2%95%20%EB%B0%8F%20%EA%B2%80%EC%82%AC%EC%88%98%EC%88%98%EB%A3%8C%EC%97%90%20%EA%B4%80%ED%95%9C%20%EA%B3%A0%EC%8B%9C>.
 24. Ministry of Trade, Industry and Energy, "Notice on quality standards, inspection methods and inspection fee for petroleum products (No. 2024-70) in Petroleum and Alternative Fuel Business Act", Korean Law Information Center, 2024. Retrieved from <https://www.law.go.kr/LSW/admRulLsInfoP.do?admRulId=31585&efYd=0>.
 25. S. K. Hoekman, A. Broch, C. Robbins, E. Cenicerros, and M. Natarajan, "Review of biodiesel composition, properties, and specifications", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 16, No. 1, 2012, pp. 143-169, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.143>.
 26. G. Santya, T. Maheswaran, and K. F. Yee, "Optimization of biodiesel production from high free fatty acid river catfish oil (*Pangasius hypophthalmus*) and waste cooking oil catalyzed by waste chicken egg shells derived catalyst", *Discover Applied Sciences*, Vol. 1, 2019, pp. 152, doi: <https://doi.org/10.1007/s42452-018-0155-z>.
 27. D. Singh, D. Sharma, S. L. Soni, S. Sharma, P. K. Sharma, and A. Jhalani, "A review on feedstocks, production processes, and yield for different generations of biodiesel", *Fuel*, Vol. 262, 2020, pp. 116553, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116553>.
 28. J. M. Dias, M. C. M. Alvim-Ferraz, and M. F. Almeida, "Comparison of the performance of different homogeneous alkali catalysts during transesterification of waste and virgin oils and evaluation of biodiesel quality", *Fuel*, Vol. 87, No. 17-18, 2008, pp. 3572-3578, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2008.06.014>.
 29. N. Mansir, S. H. Teo, N. A. Mijjan, and Y. H. Taufiq-Yap, "Efficient reaction for biodiesel manufacturing using bi-functional oxide catalyst", *Catalysis Communications*, Vol. 149, 2021, pp. 106201, doi: <https://doi.org/10.1016/j.catcom.2020.106201>.
 30. M. J. Ramos, C. M. Fernández, A. Casas, L. Rodríguez, and Á. Pérez, "Influence of fatty acid composition of raw materials on biodiesel properties", *Bioresource Technology*, Vol. 100, No. 1, 2009, pp. 261-268, doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.06.039>.
 31. S. Pinzi, I. L. Garcia, F. J. Lopez-Gimenez, M. D. L. de Castro, G. Dorado, and M. P. Dorado, "The ideal vegetable oil-based biodiesel composition: a review of social, economical and technical implications", *Energy & Fuels*, Vol. 23, No. 5, 2009, pp. 2325-2341, doi: <https://doi.org/10.1021/ef801098a>.