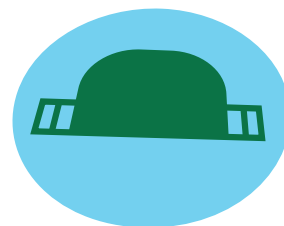
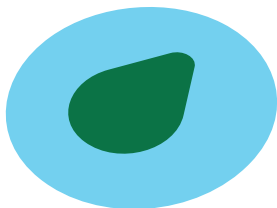
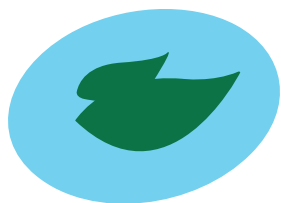
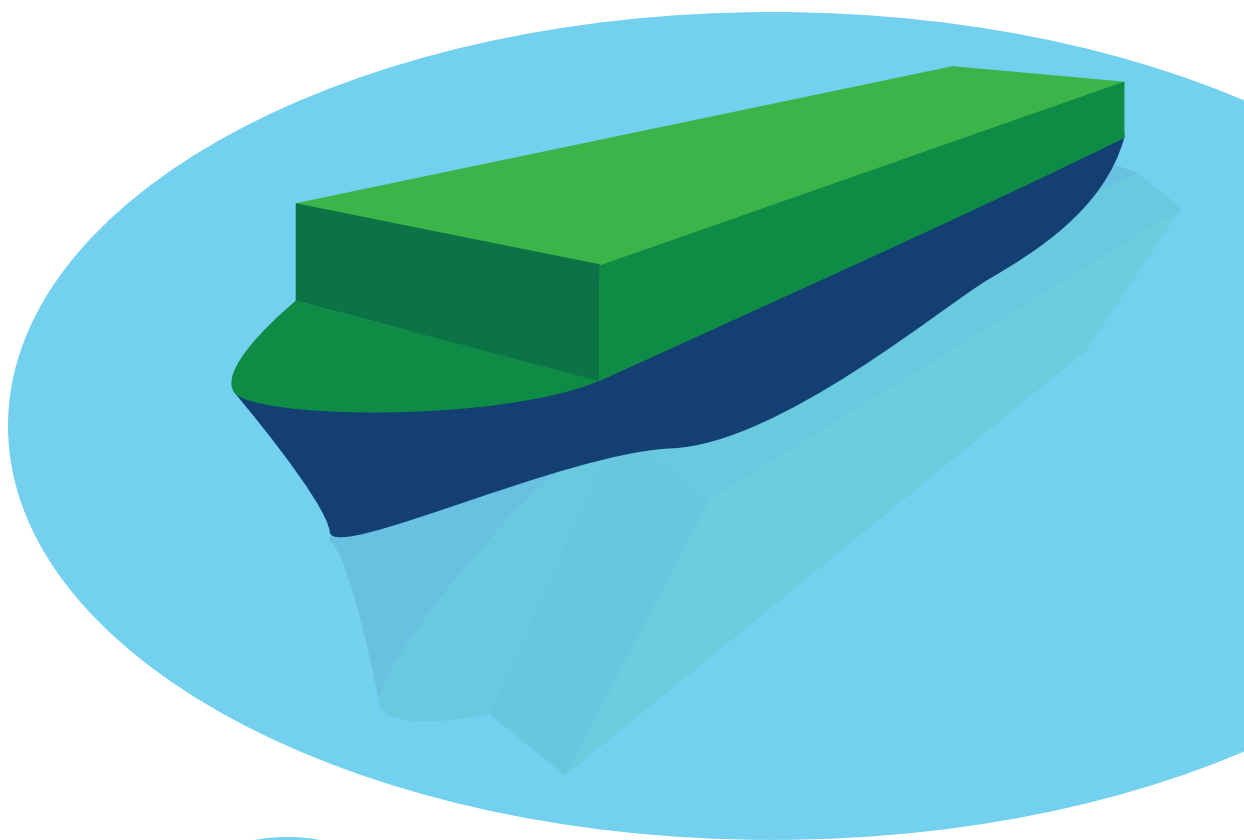


(기술·연구·표준) 동향

바이오선박유 실무

(바이오디젤/중유 중심)



한양대학교



본 이슈 리포트는 산업통상자원부의 국가 표준 기술력 향상 사업인 '수송 및 발전 분야의 바이오연료 보급 활성화 기반 조성' 과제의 수행 일환으로 제작되었습니다.

제 1장	배경 및 필요성	3
	지구온난화와 탄소중립	3
제 2장	해운 분야 선박 연료 현황	6
	해운 분야 선박 현황	6
	해운 분야 선박 연료 현황	7
제 3장	바이오선박유 기술 현황	9
	바이오선박유 생산 기술	9
	바이오선박유 대기오염물질 배출	13
	선박 관련 일반 사항	14
제 4장	바이오디젤/중유 기술 및 공정	15
	바이오디젤/바이오중유 현황	15
	바이오디젤 제조 공정	15
	바이오디젤 합성 경로	16
	바이오디젤 품질 규격	17
	바이오중유 개요	18
	선박용 연료로 바이오중유 활용 현황	19
	바이오중유 원료 및 제조 공정	20
제 5장	참고문헌	20

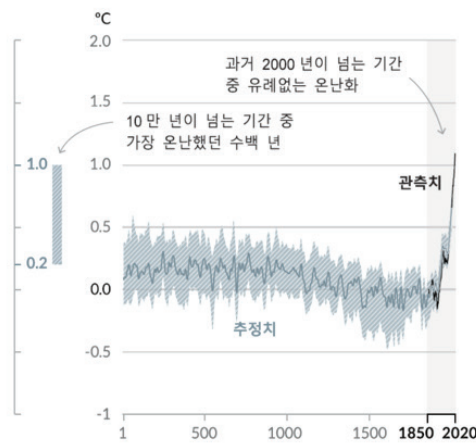
제 1장 배경 및 필요성

지구온난화와 탄소중립

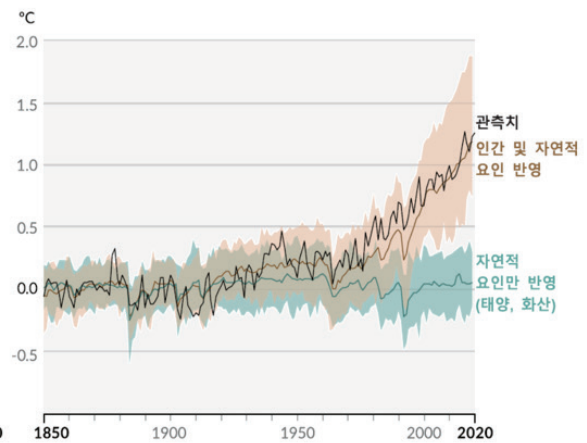
인간의 영향에 의해 과거 2000년 동안 유례없이 빠른 속도로 기후가 온난화 되었다. 아래 그림에서와 같이 지난 2000년의 추정 온도 변화폭은 크지 않았으나 관측이 시작된 1850년 이후의 관측치는 급격히 올라가고 있는 추세이다. 이러한 요인을 자연적 요인만 반영한 경우와 인간 및 자연적 요인을 반영한 그래프를 비교해 볼 때 인간의 영향에 의해 지구는 급격히 온난화 되고 있다.¹⁾

1850~1900 년 대비 지구 표면온도 변화

a) 지구 표면온도 변화(10년 평균) 추정치(1~2000년)와 관측치(1850~2020년)



b) 지구 표면온도 변화(연평균) 관측치와 인간 및 자연적 요인과 자연적 요인만 고려한 모의 결과(1850~2020년)

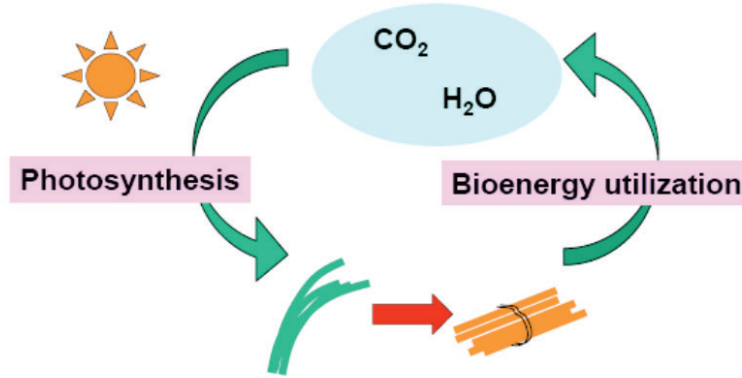


[과거 지구 온도 변화와 최근의 온난화 원인]

- 바이오에너지는 탄소중립에너지로 인정받고 있는데, 이는 인간의 바이오매스 활용에 의해 배출된 이산화탄소는 광합성에 의해 탄소고정화 되어 다시 바이오매스로 변환되어 탄소의 순환사이클이 형성되기 때문이다. 이에 따라 IPCC에서는 바이오에너지의 사용에 의해 발생한 이산화탄소는 국가 배출량에서 제외하고 있다.

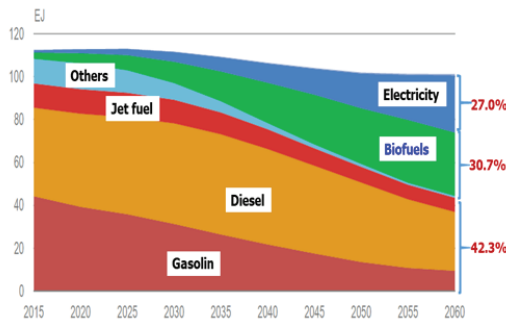
1) IPCC Report AR6, 2021.8

CO₂ Neutral 에너지



[바이오에너지의 탄소 순환 사이클]

• 바이오에너지는 바이오매스의 생물학적, 열화학적 전환 등 다양한 방법에 의해 액체, 고체, 기체 형태의 에너지로 활용하는 모든 에너지를 의미하며, 열 및 전기 생산 뿐 아니라 자체로 에너지 저장체인 바이오연료로 활용될 수 있다는 장점이 있다. 특히 바이오연료는 액체 연료 위주로 전세계적으로 보급이 이루어지고 있으며 2060년 2°C 이하 역제를 위해 수송부문 바이오연료 비중은 30.7%로 예상되고 있다²⁾. 이에 따라 바이오연료 시장은 2020년 대비 2060년 10배 이상 증가가 전망되고 있다. 바이오에탄올과 바이오디젤 중심으로 보급이 활발하게 진행 중으로 평균 혼합율은 각각 10%, 7%에 이르고 있다. 향후 전세계적인 탄소중립 선언과 이행 정책 추진으로 혼합율의 지속적인 증가가 예상된다. 특히, 1세대 식용 원료보다 탄소감축율이 높은 목질계, 폐유지계(음폐유, 탕유, 부산폐유 등)의 비식용 바이오매스 자원을 이용하는 2세대 기술 개발이 활발히 진행되고 있다.



<2°C 시나리오의 수송용 에너지 전망>

	바이오에탄올	바이오디젤	바이오가스
생산량, toe	6.0 x 10 ⁷ (600억\$)	3.2 x 10 ⁷ (390억\$)	Negligible
적용 기술	바이오	열화학	바이오/열화학
원료	사탕수수, 옥수수	유채, 대두	유기성 폐기물
대체 연료	휘발유	경유	LNG
혼합율	10% 이하	7% 이하	100

<수송용 바이오 연료 보급 현황>

[2°C 시나리오 수송용 에너지 전망 및 바이오연료 보급 현황]

2) IEA, 2017

- 수송 부문은 도로, 해운, 항공 분야로 나눌 수 있으며, 모든 분야에서 탄소 배출 저감을 이루는 것이 넷-제로 달성에 무엇보다 중요하다. 해운 분야에서는 기존의 선박 운송에서 암모니아/수소, 메탄올, 전기추진, 바이오연료 등 다양한 무탄소/저탄소 기술 개발이 진행되고 있다. 가장 빠르고 손쉽게 기존 엔진이나 인프라의 큰 변경 없이 사용할 수 있는 것이 바이오연료이다. 이러한 측면에서 산업통상자원부에서는 바이오선박유를 이용한 첫 시범 운항 결과를 23년 9월 발표하였으며 향후 바이오선박유 품질기준을 마련할 계획이다. GS칼텍스에 따르면 국내 정유사 최초로 바이오디젤이 30% 함유된 바이오선박유를 제조하였고 이를 'B30'으로 명칭하였는데 기존 선박유 대비 80% 이상의 탄소배출 감축 효과가 있는 바이오디젤을 30% 사용하기 때문에, B30 바이오선박유는 기존 선박유 대비 약 24%의 탄소배출 감축 효과를 기대할 수 있다.
- 이러한 바이오선박유의 시범 운항 및 사용 사례는 국내 뿐 아니라 세계적으로 진행되고 있으며, Neste에서는 Marine 0.1이라는 고유 바이오선박유 브랜드를 공개하였다. ExxonMobil의 경우 22년 8월과 9월에 싱가포르 항구에서 바이오선박유를 급유해 아시아 태평양 지역에서 총 2회의 시범운항을 성공적으로 수행하였다.



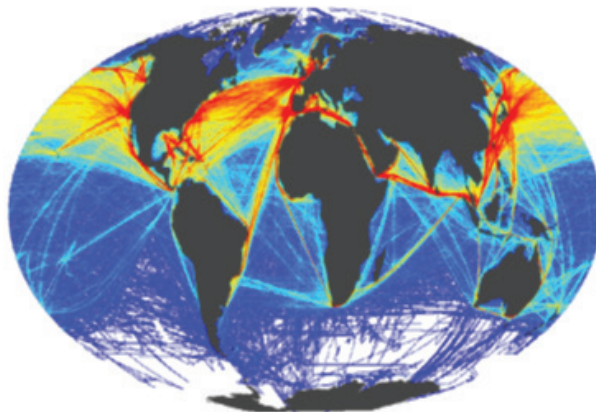
제 2장 해운 분야 선박 연료 현황

✎ 해운 분야 선박 현황

• 선박의 종류, 분류, 운항 현황은 다음 그림과 같다. 목적에 따라 다양한 선박의 종류가 있으며 상선들의 세계 운항 경로는 해양으로 붉은색 위주로 다양하게 분포되어 있으며 크기에 따른 선박 분류는 다음 그림과 같다.

Vessel	Carrying capacity	% of merchant fleet		Purpose
		By tonnage	By number	
Dry bulk carriers	10,000 - 400,000 DWT	35	15	Transport unpacked bulk cargo (grains, coal, ore, etc.)
General cargo ships	20,000 - 550,000 DWT	6	21	Multi-purpose vessels transporting non-bulk cargo
Work and service vessels	Varies	4	19	Tug boats, offshore support vessels, harbour work craft
Tankers	10,000 - 550,000 DWT	20	14	Transport of fluids(crude oil, petroleum), also known as liquid bulk carriers
Container ships	3,000 - 19,000 TEU (approx. 50,00 - 160,00 DWT)	18	10	Transport non-bulk cargo in containers
Chemical tankers	3,000 - 42,000 DWT	6	10	Transport of bulk liquid and dry chemicals
Passenger ships	2,000 - 225,000 GT (approx. 1,000 - 25,000 DWT)	6	8	Ferries, cruise ships, roll-on/roll-off passenger ships
LNG tankers	500 - 300,000 DWT	5	3	Transport of LNG, also known as gas carriers

[Merchant shipping vessel classifications]



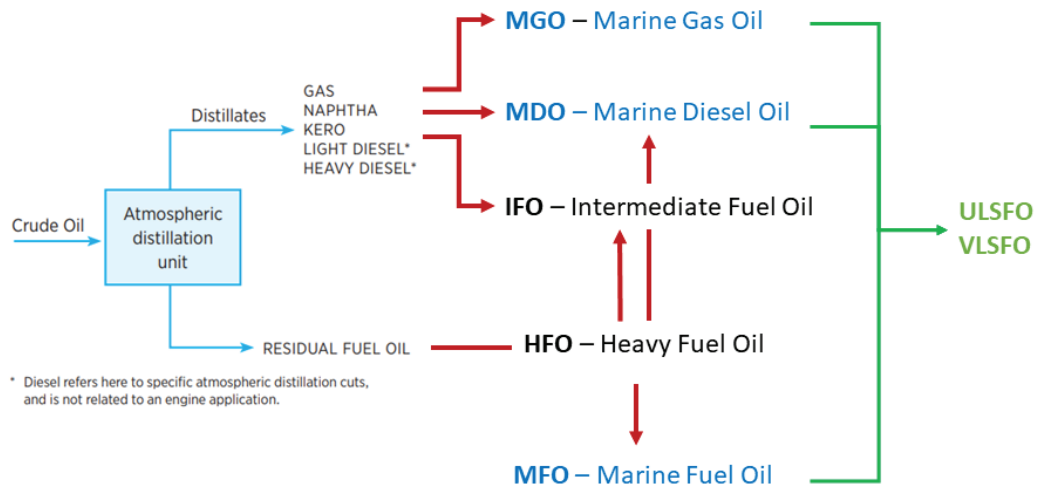
[Merchant shipping routes around world]

Vessel	Size(GT)	% of world fleet	
		By total number	By gross tonnage
Small	100 - 499	37	1
Medium	500 - 24,999	44	19
Large	25,000 - 59,999	13	35
Very large	≥60,000	6	45

[Classification of merchant vessels by size]

✎ 해운 분야 선박 연료 현황

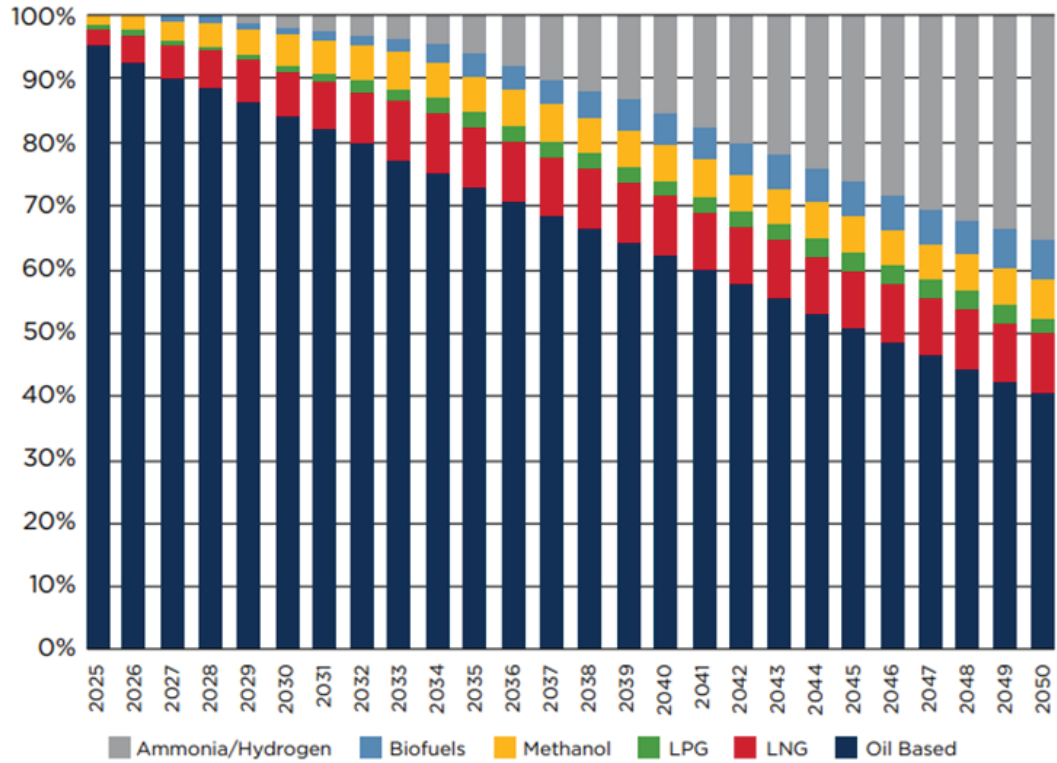
• 선박의 연료는 전통적으로 화석연료인 원유를 고도화설비를 통해 증류 정제하여 light 연료 성분부터 heavy 연료 성분까지 다양한 석유 제품을 생산해 선박 연료유로 활용하고 있다. 선박 연료의 황 함량에 따라 ULSFO(Ultra Low Sulfur Fuel Oil)과 VLSFO(Very Low Sulfur Fuel Oil)로 구분 할 수 있으며 선박 엔진의 용도, 종류, 제원 등 요구 사항에 따라 다양한 등급의 선박 연료가 제조된다. 근래 국제해사기구(IMO)의 규정에 따라, 저 황 함유 선박유(VLSFO, ULSFO)가 유통되고 있으며 제조 단계는 다음과 같다.³⁾



[선박유(Marine Oil) 제조 단계 - 석유계 원료 기반 공정]

3) Chevron, Everything you need to know about marine fuel, 2021

- 해운 분야 선박 연료 보급 전망은 다음과 같다. 장기적으로 암모니아/수소 선박 비중이 높아지고 화석연료계 선박유는 감소하며 바이오연료는 점차적으로 증가하다가 2050년경 약 5% 정도의 비중으로 보급될 것으로 전망된다.



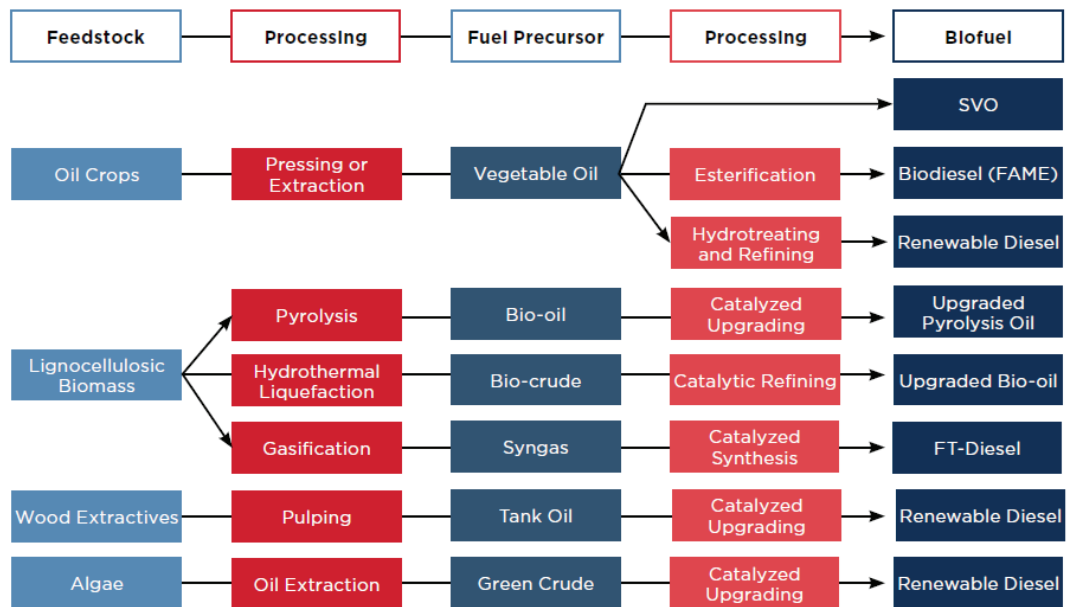
[해운 분야 선박연료 보급 전망]

- 해운 분야에서 바이오선박유 도입 배경은 2020년 이후로 연료중의 황 함량 규제가 시작됨에 따라 대부분의 선박유는 기존의 3.5% 황 함유에서 0.5% 미만 황 함유 선박 연료로 제한되고 있으며, ECA(Emission Control Areas)에서는 SOx 배출 규제를 위해 0.1% 미만의 연료를 사용하거나 배출저감 장치를 갖추어야 한다. CO2 배출 규제는 특별히 없다가 2018년부터 배출 모니터링이 진행되고 2030년에는 20% CO2 배출 감축의 목표가 설정되었다. IMO와 EU에서는 2050년 최소 50%의 CO2 배출 감축 목표를 설정하였으나 국제적 합의가 필요한 상황이다.

제 3장 바이오선박유 기술 현황

✎ 바이오선박유 생산 기술

· 바이오선박유는 바이오연료 자체이거나 바이오연료를 기존 화석연료와 혼합 연료를 지칭한다. 이러한 바이오선박유의 근간이 되는 바이오연료의 제조 공정은 다음과 같다. 오일 작물, 리그노셀룰로식 바이오매스, 나무추출물, 미세조류 등의 다양한 바이오매스 원료로부터 압착/추출, 열분해, 수열액화, 가스화, 펄핑, 오일 추출의 가공 전처리를 거친 후 에스테르화, 수소첨가 정제, 촉매 업그레이딩 등의 추가 공정을 거쳐 바이오디젤, 수첨 바이오디젤, FT디젤, 업그레이드된 바이오오일 등 다양한 바이오연료를 제조 할 수 있다.⁴⁾



[원료 및 반응경로에 따른 바이오연료(선박유) 제조 공정]

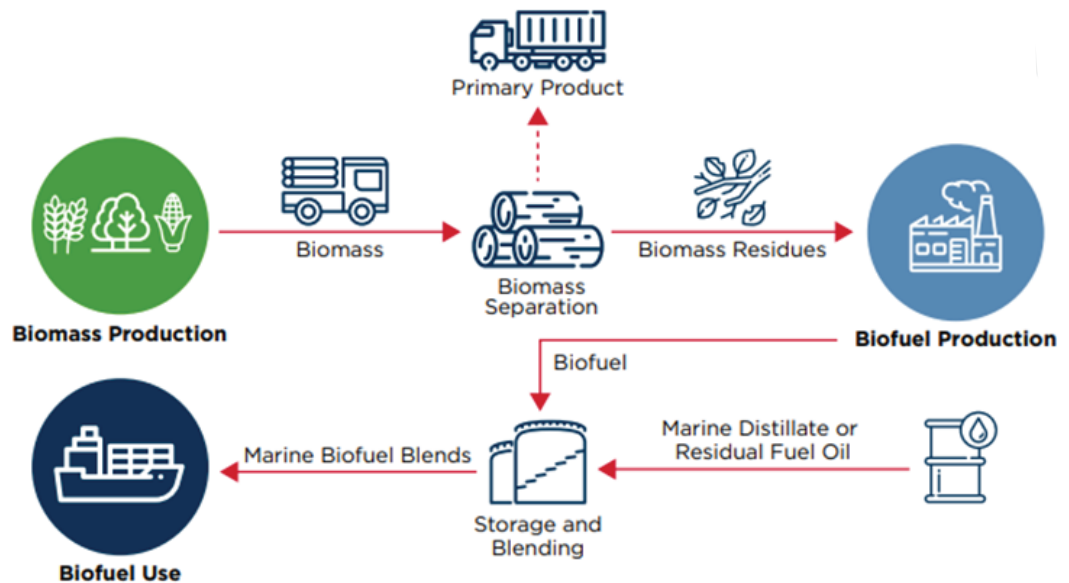
· 바이오선박유를 제조하는 바이오매스의 종류는 지역에 따라 자원량이 차이가 나며 선호되는 원료를 다음 표에 정리하였다.

4) American Bureau of Shipping, 2021

Area	Biofuel Volume (Billion Gallons) In 2020	Country	Major Biofuel Feedstock
European	3.5	UK	Rapeseed and Waste Oil
		Germany	Rapeseed
		Italy	Rapeseed and Sunflower
		France	Rapeseed and Sunflower
		Turkey	Rapeseed and Sunflower
		Spain	Linseed and Sunflower
		Greece	Cottonseed
		Sweden	Rapeseed
North America	3.0	USA	Soybeans and Waste Oil
		Canada	Canola
		Mexico	Animal Fat and Waste Oil
South America	2.0	Brazil	Soybeans and Palm Oil
		Argentina	Soybeans
Indonesia/Malaysia	1.0	Malaysia	Palm Oil
		Indonesia	Palm Oil
		Thailand	Palm Oil and Coconut Oil
		Philippines	Coconut Oil
		China	Rapeseed and Waste Oil
India/Africa/Other	1.5	India	Jatropha and Pongamia
		South Africa	Jatropha and Castor
		Japan	Waste Oil
		Australia	Jatropha
		New Zealand	Waste Oil and Tallow

[지역에 따른 바이오연료 생산량 및 사용 원료]

• 바이오선박유의 제조 및 유통 과정을 원료부터 활용 단계까지 정리하면 다음 그림과 같다.



[바이오매스 원료로부터 바이오선박유로 활용 과정]

- 국내 바이오선박유의 품질규격은 아직까지 별도로 공인된 것이 없으나, 바이오디젤 30%와 화석기반 벙커C유 70%를 혼합한 연료유로 시범 운항한 사례가 있으며, 최근 GS칼텍스에서 ISCC 인증을 획득하여 바이오선박유로 공급한 바 있다. 바이오연료 내에는 황 함유량이 매우 낮아 VLSFO와 바이오디젤을 혼합한 연료는 황 함량 규제를 만족시킬 수 있다. 또한 ISO 8217(IMO 2020), Specifications for distillate marine fuels 규격에서는 FAME 혼합에 따른 새로운 연료 등급(DF-)을 품질규격에 마련하였다.
- IMO 규제에 따라 2020년 이후로는 HSFO 단독으로는 선박유로 이용이 어렵게 되었으며, 아래 표와 같이 바이오디젤(FAME), HVO(재생디젤, 파라핀계 탄화수소), FAME와 생산 잔여물 혼합형태, FAME/HVO와 화석연료 혼합연료, ULSFO, VLSFO 등의 연료가 선박유 규제를 만족하여 이용될 것으로 보인다.⁵⁾

Overview of biofuel and fossil fuel type properties

Components	Properties						
	FAME FAME	HVO Paraffinic hydrocarbon	Similar FAME-type FAME + residuals from production	Blends FAME/HVO + fossil fuel	ULSFO DM-grade (diesel)	VLSFO RM-grade (heavy fuel)	HSFO RM-grade (heavy fuel)
Nitrogen [%]	~0.1	~0	~0.1	~0.1-0.4	~0.1	~0.4	~0.4
Oxygen [%]	~10	~0	~11	~0-10	~0	~0	~0
Sulphur [%]	~0	~0	~0	Low ¹⁾	≤0.10	≤0.50	>0.50. Average: 2.9
LCV [MJ/kg]	37	43	36-37	37-43	42-43	39-42	39-41
Kin. viscosity [mm ² /s]	3-5 at 40°C	2-3 at 40°C	15-40 at 50°C	Low ¹⁾	2-11 at 40°C	2-500 at 50°C	200-700 at 50°C
Pour point [°C]	<-6 to >+6 ²⁾	low	~0	¹⁾	ISO 8217	ISO 8217	ISO 8217
Stability	Low-high ²⁾	Very high	Medium-high	Medium-high	Very high	High	High
Lubricity	Analyse ³⁾	Analyse ³⁾	Analyse ³⁾	Analyse ³⁾	ISO 8217	ISO 8217	ISO 8217
Standard ⁴⁾	EN 14214, ASTM D6751	EN 15940:2016+ A1:2018+AC, ISO 8217 DMA grade	No standard	No standard ⁴⁾ ISO 8217:2017: up to 7% FAME in DM	ISO 8217	ISO 8217	ISO 8217

¹⁾ Depending on biofuel blend ratio and properties of the bio-part and the fossil fuel.
²⁾ Depending on FAME feedstock.
³⁾ Most relevant for fuels with lower than 0.05% sulphur (500 ppm S)
⁴⁾ Standards are updated from time to time. Always refer to the latest edition.

[바이오연료와 화석 연료 형태에 따른 물성]

- 대부분의 상용 선박용 엔진은 CI(Compression Ignition) 방식의 디젤 엔진을 채용하고 있으며, 기존의 MDO(marine diesel oil)는 FAME, HVO, FTD 등으로 대체가 가능하다. 저속엔진용 HFO는 SVO, PBO, HTL 등으로 대체가 가능할 것으로 보인다. 연료의 혼합비(blending ratio)는 엔진의 요구 specification에 따라 조정이 필요하다. 다음 그림에 상용 선박용 엔진과 (바이오)연료의 호환가능 여부를 나타내었다.⁶⁾

Engine	HFO	MDO	LSHFO	LNG	Gasoline
Compression ignition (diesel)					
2-stroke slow speed	Green	Green	Green	Grey	Grey
4-stroke medium speed	Green	Green	Green	Grey	Grey
Diesel electric	Green	Green	Green	Grey	Grey
Dual fuel (diesel+other)	Green	Green	Green	Green	Grey
Spark-ignition					
Petrol engine	Grey	Grey	Grey	Grey	Green
Gas engine	Grey	Grey	Grey	Green	Grey
Non-reciprocating systems					
Steam turbines	Green	Green	Green	Green	Green
Gas turbines	Green	Green	Green	Green	Green

[선박용 엔진 및 (바이오)연료의 호환 가능성, IEA Bioenergy (2017)]

⁵⁾ MAN Energy Solutions : Operational guidelines for biofuels (Service Letter SL2023-741)
⁶⁾ IEA Bioenergy, 2017

- 바이오 선박유의 호환성과 주의점에 대해 선박용 엔진 기술에 따라 다음과 같이 표시하였다. FAME, HVO, FAME 유사 형태, 혼합 연료 등에 대해서 대부분의 엔진 설계 및 기술들에 대해 호환성이 있다. 하지만, 바이오연료 사용에 따라 NOx 배출의 미세한 증가에 따른 Urea 사용 증가가 발생할 수 있으며, 일부 부품 수명이 감소할 수 있다. 기계 부식의 원인이 되는 전산가 유발 물질의 유입이나 발생 방지가 필요하다. 특히, 강산의 주요 요인이 되는 무기산은 연료 중에 없어야 한다. FAME 기반 연료의 경우 엔진 특성에 맞는 발열량 품질이 요구되며, 점도, 유동점 등 기계설계, 재질에 따른 기타 품질의 검증 또한 필요하다.

Overview of accepted biofuel use

Technology	Biofuel			
	FAME	HVO	Similar FAME-type	Blends
Engine design: MC/MC-C, ME/ME-C, ME-B, ME-GI, ME-GIE, ME-LGIM, ME-LGIP and ME-GA	Acceptable ¹⁾	Acceptable ¹⁾	Acceptable ¹⁾	Acceptable ¹⁾
Tier III: EGR, EcoEGR	Acceptable ¹⁾	Acceptable ¹⁾	Acceptable ¹⁾	Acceptable ¹⁾
Tier III: HPSCR ²⁾	Acceptable ¹⁾	Acceptable ¹⁾	Acceptable ¹⁾	Acceptable ¹⁾
Tier III: LPSCR ^{2), 3)}	Acceptable ¹⁾	Acceptable ¹⁾	Acceptable ¹⁾	Acceptable ¹⁾
Pilot fuel in dual-fuel engines	Acceptable ¹⁾	Acceptable ¹⁾	Acceptable ¹⁾	Acceptable ¹⁾

¹⁾ Lifetime of components may be reduced.

²⁾ Urea consumption may slightly increase due to potentially slightly increased NO_x during biofuel operation.

³⁾ LPSCR is only for max 0.10% S fuels.

[선박용 엔진 기술에 따른 바이오연료 호환성 및 주의 사항]

RECOMMENDED/COMPATIBLE MATERIALS WITH BIOFUELS	NOT RECOMMENDED/INCOMPATIBLE MATERIALS WITH BIOFUELS
Steel	Bronze
Aluminum	Brass
Fiberglass	Copper
Teflon	Lead
Fluorinated Polyethylene	Tin
Fluorinated Polypropylene	Zinc

[바이오연료의 유통 및 저장 유의점, 접촉 재질]

- 바이오선박유로 활용되는 바이오연료의 유통, 저장시 유의점을 접촉 재질에 따라 아래 표와 같이 요약하였다. Coating, Tank 보관, Pipe 이송에 따라 부식 발생이 가능해 재질에 대한 주의가 필요하다. 품질 관리를 위해 제조, 공급, 유통 단계의 이동 경로 파악도 필요하다. 부적절한(incompatible) 재질의 경우 FAME을 산화하거나 침전물 발생을 야기 할 수 있다. 이외에 바이오연료 특성에 따라 부식/변질의 위험성 요인의 파악이 중요하다.

✎ 바이오선박유 대기오염물질 배출

- 선박의 종류, 분류, 운항 현황은 다음 그림과 같다. 목적에 따라 다양한 선박의 종류가 있으며 상선들의 세계 운항 경로는 해양으로 붉은색 위주로 다양하게 분포되어 있으며 크기에 따른 선박 분류는 다음 그림과 같다.

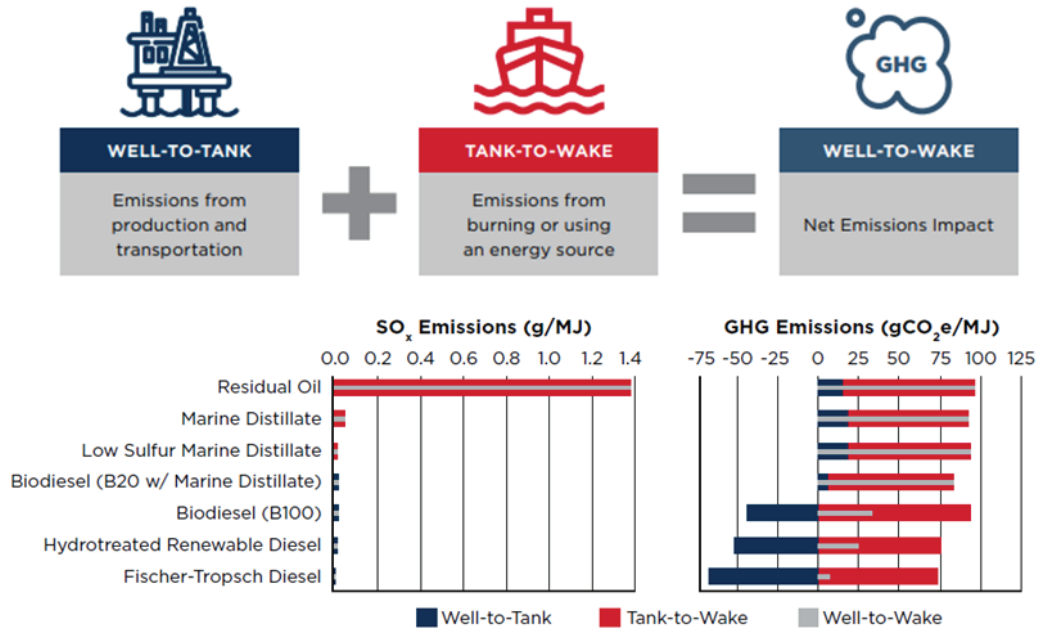
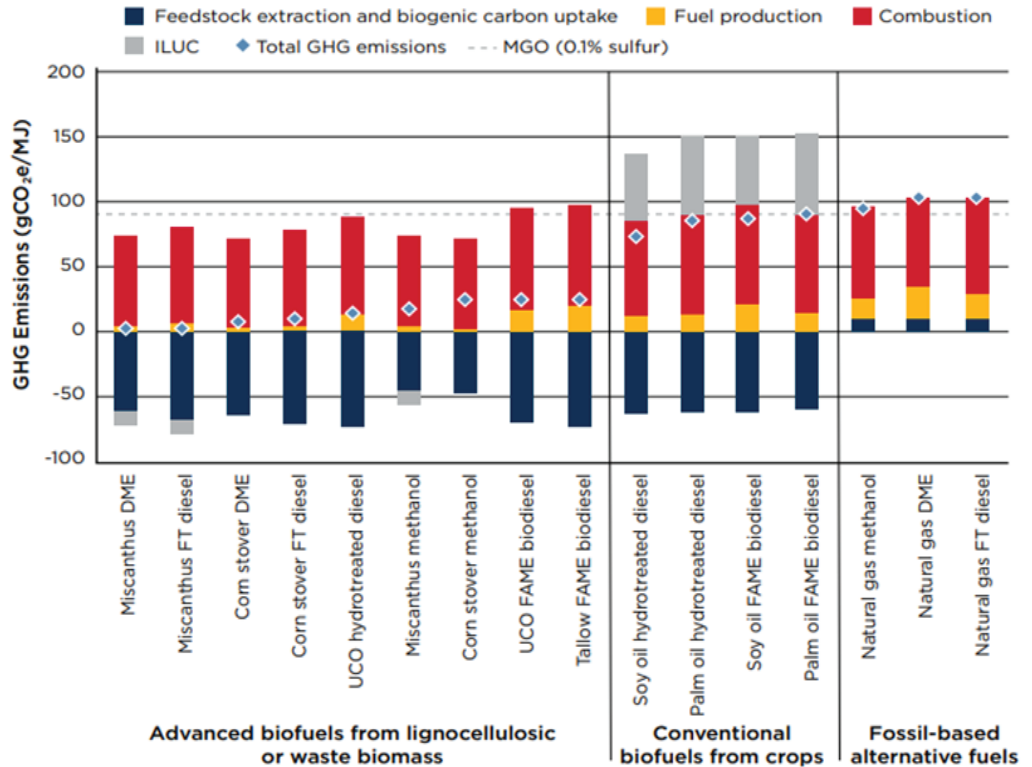
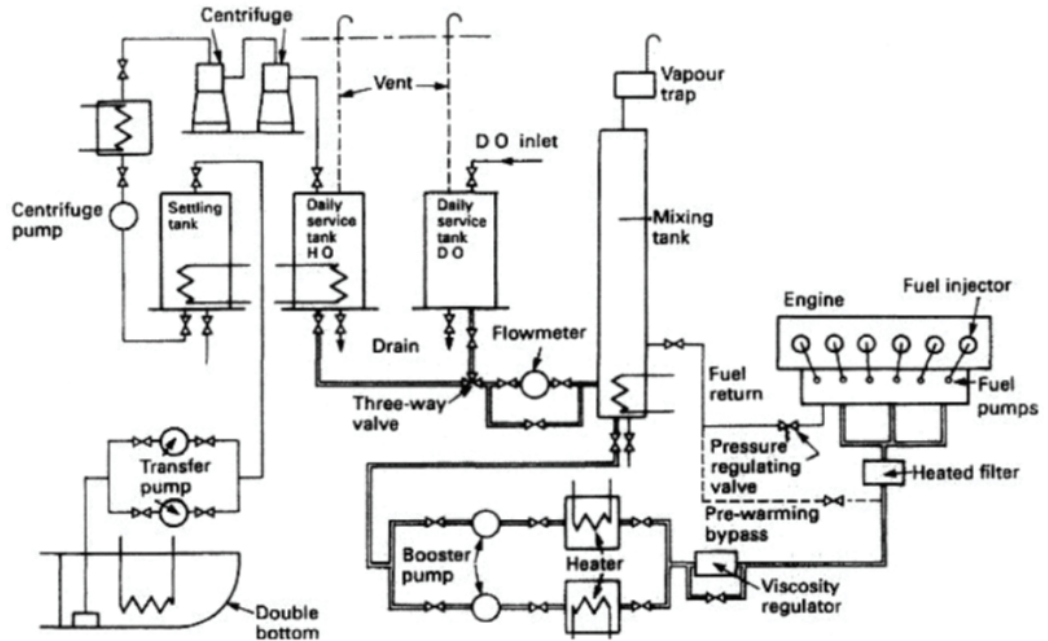


Figure credit: Troy Hawkins and Uisung Lee, Argonne National Laboratory



[선박 연료유 종류에 따른 대기오염 물질 및 GHG 배출량 차이⁴⁾]

- 선박 연료 시스템 중에 대표적인 two-stroke diesel engine에 대해서 아래 그림에 나타내었다⁴⁾.



[Two-stroke diesel engine 연료 시스템]

✎ 선박 관련 일반 사항

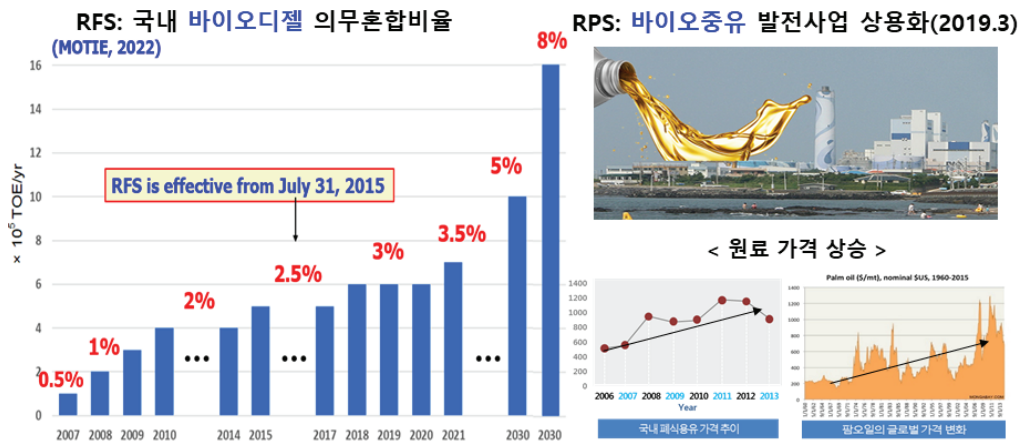
- 선박 등록된 상선은 85,000대 이상으로 전세계 무역의 약 80%를 담당하고 있다. 해운 분야에서 연간 3억3천만톤의 연료를 소비하고 이종의 77%는 중유 연료이다. 해운 분야는 Global CO2 배출의 2-3% 비중을 차지하고, 4-9% SOx, 10-15% NOx 대기오염 물질을 배출하고 있다.
- 주로 Two-stroke diesel engine 추진 시스템을 이용하며, 1만-1만4천톤의 연료 저장 용량을 가진다. 평균 200-250톤/일의 연료를 소비하여 도로 및 항공 분야보다 낮은 CO2 배출 수준을 가지나, SOx나 NOx의 배출 수준은 더 높은 상황이다.



제 4장 바이오디젤/중유 기술 및 공정

✎ 바이오디젤/바이오중유 현황

· 바이오디젤은 RFS(Renewable Fuel Standard), 즉 신재생에너지연료 의무혼합 제도를 통해 2015년 7월부터 기존 경유에 2.5% 의무혼합으로 본격적인 보급이 진행되었다. 제도가 확립되기 전 2002년부터 2006년까지 수도권 대기질 개선사업의 일환으로 수도권과 전라북도 지역에서 B20(바이오디젤 20% 혼합연료)으로 시범보급 기간을 거쳐 2007년 바이오디젤 제조사와 정유사의 자발적 협약에 의해 0.5% 혼합유(B0.5)로 전국적 보급이 시작되었다. 22년 10월 산업통상자원부는 2030년 바이오디젤 의무혼합 비율을 당초 5%에서 8%로 상향 확대를 발표하였다. 바이오중유는 약 5년의 시범보급 기간을 거쳐 2019년 3월 상용화 되었으며 RPS(Renewable Portfolio Standard) 정책으로 보급량이 증가하였다.

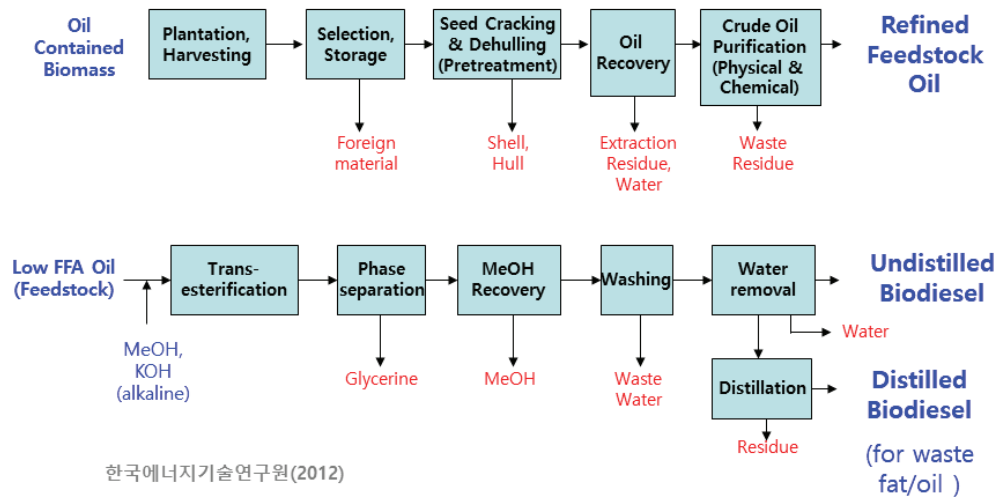


[국내 기후변화 대응 및 온실가스 감축을 위한 RFS/RPS 정책]

✎ 바이오디젤 제조 공정

· 바이오디젤은 동식물성 오일을 원료로 제조되나 대부분의 원료는 식물성 오일 자원이다. 대두, 유채, 팜 등 다양한 오일 작물 바이오매스가 있으며 원료 오일 생산부터 바이오디젤 생산 과정을 다음 그림에 요약하였다. 오일 작물의 재배/수확, 선별/저장, 오일 seed의 탈각, 착유, 추출, 물리/화학적 정제를 통해 정제된 원료 오일을 얻는다. 이러한 정제 원료는 FFA(Free Fatty Acid) 함량이 낮아서 오일과 메탄올과의 염기촉매 전이에스테르화 반응 공정에 의해 바이오디젤과 글리세린을 생성한다. 반응생성물에서 글리세린을 분리하고, 메탄올을 회수한 바이오디젤은 수세 정제와 탈수 공정을 통해 제품화 되는 것이 일반적이며 폐식용유 등 저급 유지를 사용할 경우, 또는 특수한 지방산이나 불순물이 포함되어 품질규격이 만족이 불가한 경우는 증류 정제 공정을 추가로 진행하여 바이오디젤을 생산하게 된다⁷⁾.

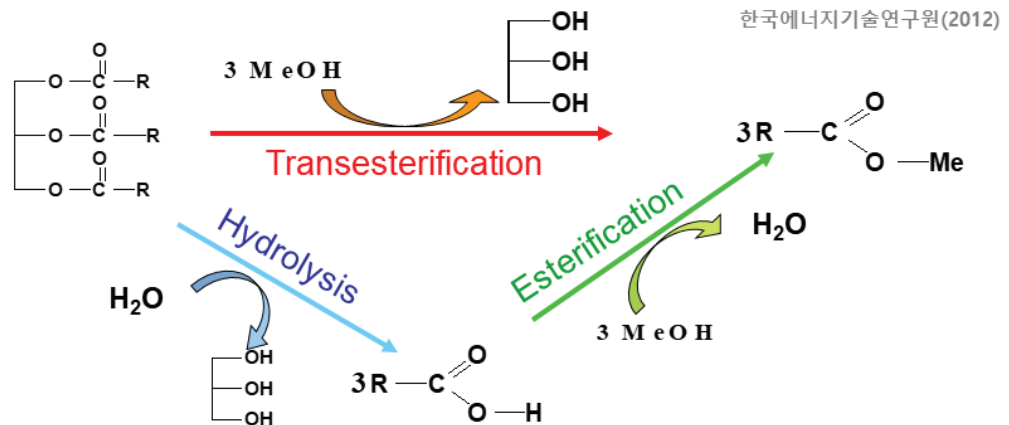
7) 바이오에너지핵심기술연구센터, 바이오디젤 일반 교육 교재, 한국에너지기술연구원(2012)



[식물성 정제 원료 및 바이오디젤 생산 공정, KIER (2012)]

✎ 바이오디젤 합성 경로

- 바이오디젤의 합성은 염기촉매 하에서 트리글리세리드(중성지질)와 메탄올과의 전이에스테르화(trans-esterification, 에스테르 교환) 반응을 통해 진행된다. 이 반응을 통해 3분자의 바이오디젤(FAME, fatty acid methyl ester)과 1분자의 글리세롤이 생성된다. 다른 반응 경로로는 중성지질을 모두 가수분해 하여, 지방산(fatty acid)과 메탄올을 산 촉매 하에서 에스테르화(esterification) 반응하여 1개의 물 분자와 1개의 바이오디젤을 생성하는 경로가 있다.



[바이오디젤의 합성 경로 - 트랜스에스테르화, 에스테르화 반응]

- 바이오디젤은 앞서 설명한 화학촉매(염기/산 촉매) 이용 방법 외에도 초임계/아임계 조건에서 무촉매로 합성하는 방법과 효소 촉매를 이용한 방법이 있으나 전세계 대부분의 상용 공정은 염기 촉매 전이에스테르화 반응에 기반하고 있다. 현재 산업부 등록 국내 8개 바이오디젤 제조사 중 7개사는 전이에스테르화 반응을 적용하고 1개사는 PFAD(FFA 90% 내외의 정제 지방산 원료)를 이용한 에스테르화 반응을 적용하고 있다.

바이오디젤 품질 규격

• 바이오디젤은 차량연료로 이용되기 위해 다음의 품질 규격에 맞도록 제조 및 정제되어야 한다.

Property	Unit	Limits		Test method
		Minimum	Maximum	
Ester content	%(m/m)	96,5		EN 14103
Density at 15°C	kg/m ³	860	900	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Viscosity at 40°C	mm ² /s	3,50	5,00	EN ISO 3104
Flash point	°C	120	-	prEN ISO 3679
Sulfur content	mg/kg	-	10,0	prEN ISO 20846 PrEN ISO 20884
Carbon residue (on 10% distillation residue)	%(m/m)	-	0,30	EN ISO 10370
Cetane number		51,0		EN ISO 5165
Sulfated ash content	%(m/m)	-	0,02	ISO 3987
Water content	mg/kg	-	500	EN ISO 12937
Total contamination	mg/kg	-	24	EN 12662
Copper strip corrosion (3h at 50°C)	rating	class 1		EN ISO 2160
Oxidation stability, 110°C	hours	6,0	-	EN 14112
Acid Value	mg KOH/g		0,50	EN 14104
Iodine value	gr iodine/100 gr		120	EN 14111
Linolenic acid methyl ester	%(m/m)		12,0	EN 14103
Polyunsaturated (>=4 double bonds) methyl esters	%(m/m)		1	
Methanol content	%(m/m)		0,20	EN 14110
Monoglyceride content	%(m/m)		0,80	EN 14105
Diglyceride content	%(m/m)		0,20	EN 14105
Triglyceride content	%(m/m)		0,20	EN 14105
Free glycerol	%(m/m)		0,02	EN 14105 EN 14106
Total glycerol	%(m/m)		0,25	EN 14105
Group I metals (Na + K)	mg/kg		5,0	EN 14108 EN 14109
Group II metals (Ca + Mg)	mg/kg		5,0	prEN 14538
Phosphorus content	mg/kg		10,0	EN 14107

[Generally applicable requirements and test methods]

- 바이오디젤의 품질규격은 제조 후 수송, 저장, 차량에 이용시 문제가 없어야 하며 품질규격 항목이 차량에 미치는 영향은 다음과 같다.

차량 영향	바이오디젤 품질규격
연료계 부품 손상 : 금속부식, 고무 등 팽윤	산가, 메탄올, 산화안정성, 에스테르 함량, 수분
연료펌프에 석출물이 부착되어 연료펌프 작동불능, 연료필터 막힘 → 연료공급이 중단되어 주행 불능	산화안정성, 다불포화지방산, 에스테르 함량, 트리글리세리드, 디글리세리드, 모노글리세리드, 글리세린, 고형물질, 수분, 금속분
배출가스 성상 악화	트리글리세리드, 금속분
기온 하강시 엔진시동 불능	저온성능 (운점, 필터막힘점, 유동점)
배출가스 처리용 촉매성능 저하	금속분, 인

[바이오디젤 품질규격 항목의 차량에 미치는 영향]

바이오중유 개요

- 바이오중유(Bio Fuel Oil)는 바이오디젤 공정 부산물(피치), 동물성 유지, 음식물쓰레기기름(음폐유), 팜 부산물 등 미활용 자원을 원료로 제조한 친환경 발전용 연료로서, 기존 BC유 발전설비를 그대로 이용하고, BC유 대비 미세먼지 약 28%, 질소산화물 39%, 온실가스 85%, 황산화물 100% 저감되는 친환경 신재생에너지이다⁸⁾.
- 바이오중유 보급 추진 배경: 2012년 신재생에너지 공급의무화제도(RPS) 시행에 따라 발전사의 의무공급량 이행을 위한 중유(BC유) 대체 연료인 바이오중유 사용 검토하였다.
- RPS(Renewable Portfolio Standard): 신재생에너지 공급 의무화제도- 설비규모 500MW 이상의 발전사업자로 총발전량의 일정비율 이상을 신재생에너지전력으로 공급하도록 의무화하는 제도
- 2013년 12월 「발전용 바이오중유 시범보급사업 추진에 관한 고시」 제정되어, 시범보급사업의 발전사업자 5개사별 발전기 각 1기 지정되고, 생산업자 21개사가 지정되었다. 바이오중유의 시범보급사업 추진(2014년 1월 1일~2018년 12월 31일) 및 실증연구(2014.1~2018.2) 결과, 발전기에 적합한 품질·성능 및 안전성을 확인하였다. 바이오중유를 법령상 석유대체연료와 재생에너지로 명문화하고, 「석유 및 석유대체연료 사업법」 및 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」 시행령이 개정되었다. 2019년 3월 15일 바이오중유 전면보급이 개시되었고, 전면보급 이후 생산업체 현황은 산업부에 11개사가 등록하였다.

선박용 연료로 바이오중유 활용 현황

- 선박용 연료로 바이오중유의 상용화 추진 현황은 다음 그림에 잘 요약되었다⁹⁾.

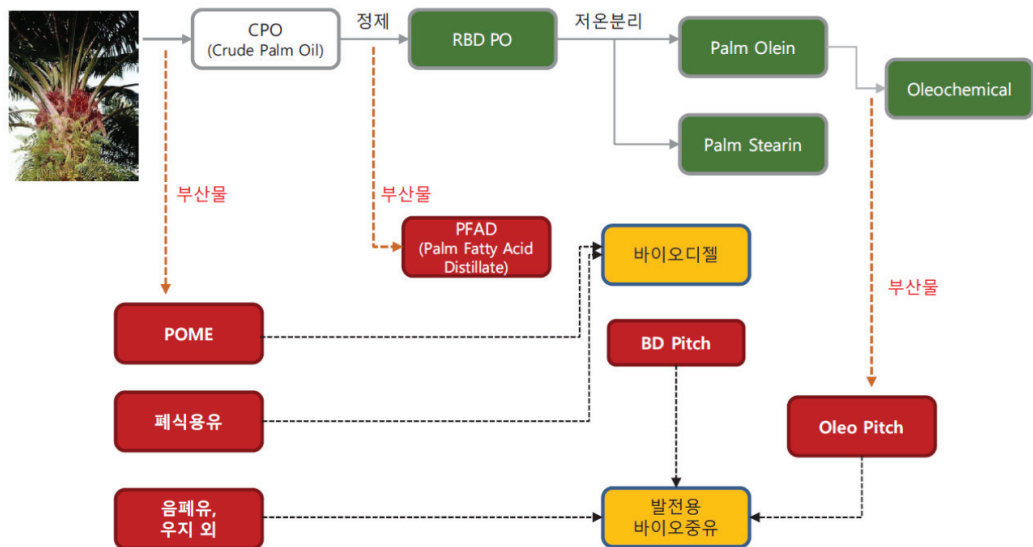
8) 한국바이오에너지협회 홈페이지 (2023)
 9) 2022년도 바이오연료 포럼 심포지움 자료집(서유현, 2022)



[선박용 바이오중유 상용화 추진 현황]

바이오중유 원료 및 제조 공정

· 바이오중유는 발전용 연료로 RPS 제도로 보급됨에 따라, 도로용 연료보다 가격이 저렴한 측면이 있다. 그에 따라, 바이오중유는 바이오디젤 원료로 활용이 어렵거나 값이 저렴한 고산가 팜 부산물(PFAD, PAO), 바이오디젤 제조공정 부산물(증류 잔사, pitch or residues), 올레오케미칼 부산물, 동물성 유지 등 비식용, 저가 waste 계열의 원료들을 품질 기준에 맞게 반응, 정제, 혼합하여 제조 생산하게 된다. 바이오중유는 바이오디젤 보다는 품질규격 수준이 낮아 다양한 불순물을 원료 단계에서 정제 전처리하고 특별한 반응공정 없이 단순 혼합으로도 제조 가능하다.



[바이오중유 원료 및 제조 공정]

제 5장 참고문헌

- 1) IPCC Report AR6, 2021.8
- 2) IEA, 2017
- 3) Chevron, Everything you need to know about marine fuel, 2021
- 4) American Bureau of Shipping, 2021
- 5) MAN Energy Solutions : Operational guidelines for biofuels (Service Letter SL2023-741)
- 6) IEA Bioenergy, 2017
- 7) 바이오핵심기술연구센터, 바이오디젤 일반교육 교재, KIER (2012)
- 8) 한국바이오에너지협회 홈페이지 (2023)
- 9) 2022년도 바이오연료 포럼 심포지움 자료집 (서유현, 2022)

(기술·연구·표준) 동향

바이오선박유 실무 (바이오디젤 / 중유중심)



한양대학교



본 이슈 리포트는 산업통상자원부의 국가 표준 기술력 향상 사업인 '수송 및 발전 분야의 바이오연료 보급 활성화 기반 조성' 과제의 수행 일환으로 제작되었습니다.