

디젤기관에 있어서 운전조건에 따른 바이오연료의 기관성능 특성 적용 가능성에 관한 연구

A Feasibility Study on the Characteristics of Performance of Biodiesel Fuel according to Operating Application in Diesel Engine

조상곤*†

Sang-Gon Cho*†

(Received 15 October 2024, Revision received 27 June 2025, Accepted 27 June 2025)

초록 : 일반적인 바이오연료 작물로는 옥수수, 유채/캐놀라, 팜유, 자트로파, 대두, 면실, 해바라기씨, 카사바, 조류, 코코넛 등이 있다. 바이오디젤은 알킬 에스테르로 구성된 식물성 기름 또는 동물성 지방을 기반으로 한 디젤연료로, 일반적으로 추운 기후에서는 성능이 저하된다. 이는 식물성 기름에 높은 함량의 포화지방이 포함되어 있어 바이오디젤 내 얼음 결정이 형성되기 때문이다. 100% 바이오디젤은 B100으로, 10% 바이오디젤과 90% 석유 디젤의 혼합유는 B10으로 표시되며, 20% 혼합유는 B20, 30% 혼합유는 B30으로 각각 분류된다. 실험 결과, 바이오디젤 비율 증가에 따라 연료 소비가 약간 증가하였으며, 압력 증가와 발열량 감소는 입자상 물질이 감소했다. 또한 바이오연료 온도가 상승함에 따라 연료 소비가 증가하는 경향이 확인되었다.

키워드 : 바이오연료(BDF), 제동연료소비율, 실린더 압력, 열발생율, 질소산화물

Abstract : The most common biofuel crops include corn, rapeseed/canola, palm oil, jatropha, soybean, cottonseed, sunflower seeds, cassava, algae, coconut, etc. Biodiesel is a vegetable oil- or animal fat-based diesel fuel consisting of long-chain alkyl esters. Generally, biodiesel made from vegetable oil does not perform well in cold climates because vegetable oil is high in saturated fats, and ice crystals tend to form in biodiesel. This means that 100% biodiesel is referred to as BDF 100, while 10% biodiesel and 90% petrol diesel is labelled as BDF 10. Similarly, 20% biodiesel and 80% petrol diesel is labelled as BDF 20, and 30% biodiesel and 70% petrol diesel is labelled as BDF 30. The results showed that fuel consumption slightly increased with an increase in biodiesel pressure. The increase in pressure and the reduction in heat generation rate caused a decrease in particulate matter. Furthermore, fuel consumption increased as biofuel temperature rose.

Key Words : Bio Diesel Fuel (BDF), Brake Specific Fuel Oil Consumption, Cylinder Pressure, Rate of Heat Release, NOx

*† 조상곤(<http://orcid.org/0000-0002-1937-8674>) : 교수, 국립군산대학교 해양-바이오특성화대학 기관공학과
E-mail : haerimho@kunsan.ac.kr, Tel : 063-469-1845

*† Sang-Gon Cho(<http://orcid.org/0000-0002-1937-8674>) : Professor, Dept. of Marine Engineering, College of Ocean & Bioscience, Kunsan National University.
E-mail : haerimho@kunsan.ac.kr, Tel : 063-469-1845

1. 서 론

현재 우리나라는 수송용 연료 부문에 대한 신·재생에너지원 공급 비중을 확대하기 위한 정책으로 신·재생에너지 연료혼합 의무화 제도(Renewable Fuel Standards, RFS)를 시행하고 있다. 이 제도는 수송용 연료 공급자(혼합의무자)가 기존 화석연료(자동차용 경유)에 일정 비율 이상(2018년 기준 3.0%)의 재생에너지 연료(바이오디젤)를 혼합하여 공급하도록 의무화한 제도로써, 2015년 7월 31일부터 시행되었다. 유럽연합(EU)은 2009년부터 신·재생에너지 지침(Renewable Energy Directive, RED)을 도입하여 회원국별 바이오연료 이용 비중을 높이기 위한 대책 마련 방안을 지속적으로 하고 있다. 유럽연합은(EU, RED) 환경과 관련하여 엄격한 지속 재생 가능성 기준을 설정하고, 관련 기준을 만족한 바이오연료만을 재생가능 에너지로서 승인 인정하고 있다. 또한 식량 이용과 토지 사용에 따른 가능성 등을 기준으로 바이오연료 범주를 기존 바이오연료와 차세대 바이오연료로 구분하고, 친환경성이 높은 바이오연료를 추진하여 장려하고 있다.

미국은 환경보호청(EPA)의 관리하에 연방정부 차원에서 실시하고 있다. 바이오연료를 원료 성분별로 구분하여 4종류의 카테고리로 분류하여 온실가스 저감 효과가 우수하다고 평가되는 바이오연료의 활용을 장려하고 있다. 해외사례 등을 참조할 때, 국내 RFS 제도 개선 과제를 다음과 같이 고려해 볼 수 있다. 첫째, 친환경성 지속가능성 있는 바이오연료를 선별하기 위한 기준을 마련하고, 해당 기준을 충족하는 경우에만 재생에너지로 의무 혼합량 이행에 포함하도록 하는 방안을 추진할 필요가 있다. 둘째, 국내에서도 바이오연료의 원료 성분에 따라 친환경성이 높고, 식량 활용성에 대한 적합성 및 수입의존도가 낮은 국내 바이오연료와 그렇지 못한 연료를 구분하여 도입하여, 점진적으로 의무이행을 개선하여 높이는 방안 마련이 요구된다.

본 연구는 직접분사식 4행정 디젤기관에 추운 날씨에 낮은 온도로 인한 필터 막힘 현상과 낮은

유동성 문제를 해결하기 위하여, 바이오 디젤연료 혼합을 및 바이오연료 온도를 적용하여 기관 연소 및 배출 특성에 미치는 영향을 분석·고찰하고자 한다.

2. 바이오연료 온도제어 시스템 및 실험장치

2.1 바이오연료 온도제어 시스템

본 실험기관의 회전수와 부하 상태를 고려하여 적절한 바이오연료 온도 조절 장치를 구성하였다. 디젤연료와 바이오연료의 공급 및 순환되는 연료 시스템 라인에 가열장치 및 냉각시스템을 설계하였다. 기관의 연료가 연료펌프 및 분사노즐에 공급된 후 부하에 따른 연료펌프에 맞춰 분사하여 남은 연료를 재순환하도록 하였으며, 순환되어 상승하는 연료를 냉각하는 장치는 1차, 2차 시스템을 통하여 일정한 온도로 실험기관에 공급하였다. 또한 오차 허용 범위는 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 로 유지하였다. 분사 바이오연료 온도 조절 장치는 Fig. 1에 구성하였으며, 그에 따른 바이오연료 온도제어 시스템은 아래와 같다.

(1) Fuel Temperature Control Box Unit : 입력 전원 및 각종 신호선을 연결하는 Box

(2) Heating Tank : 65 A 6 KW 용량을 가진 Heater

(3) 열교환기-1(Heat Exchange) : 뜨거워진 Engine 연료를 냉각시켜 Engine에 공급되도록 하는 장치

(3-1) 열교환기-2(Heat Exchange) : 뜨거워진 Engine 출구 연료를 냉각시켜 연료 소모량계로 보내는 장치

(4) 2-Way Control Valve(Pneumatic) : 연료 온도가 SP(UT-550)보다 높게 나타날 때는 온도 차에 따라 조금씩 열리고 조금씩 닫히면서 연료 온도를 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 로 유지하는 Valve

(5) Water Pump Line Pump : 냉각수의 흐름을 원활하게 하기 위한 Pump

(6) Flow Switch : 냉각수 흐름 상태를 확인하는 Flow S/W

(7) Auto Air Vent 1 : Engine에 공급되는 연료

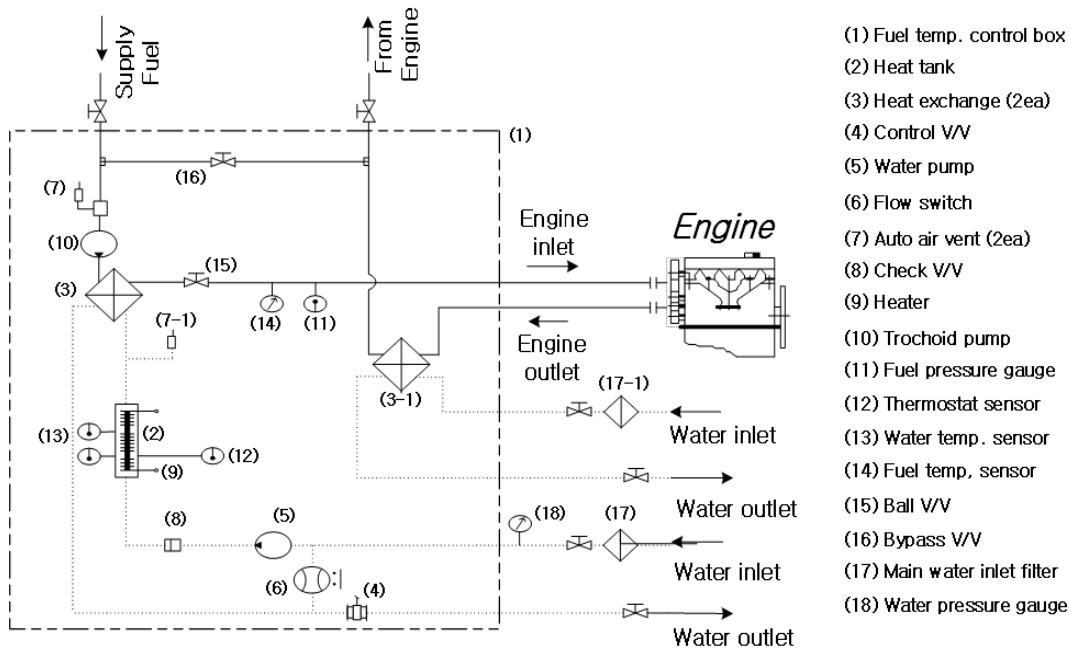


Fig. 1 Schematic diagram of fuel temperature control system

의 공기를 자동으로 배출시키는 Vent

(7-1) Auto Air Vent 2 : Heat Tank 내 냉각수의 공기를 자동으로 배출시키는 Vent

(8) Check Valve : 냉각수의 흐름을 한 방향으로만 흐르게 하기 위한 Valve

(10) Trochoid Pump : 연료 공급 압력을 조절하기 위한 Pump

(11) Fuel Pressure Gauge : Engine에 공급된 연료의 압력을 확인할 수 있는 Gauge

(12) Thermostat Sensor : Heat Tank 내 Overheat 온도를 감지하는 Sensor

(13) Water Temp Sensor : Heat Tank 내 온도를 감지하는 Sensor(PT 100 Ω)

(14) Fuel Temp Sensor : Engine에 공급되는 연료 온도를 감지하는 Sensor(PT 100 Ω). Temp Controller(UT-550)는 온도 Sensor(PT 100 Ω)

(16) Bypass Valve는 Engine의 In/Out 연료를 혼합시키는 Valve

(17) Main Water Inlet Filter : Water Pressure Gauge 장비에 공급되는 냉각수의 압력을 확인할

수 있는 Gauge

2.2 실험장치

직접분사식 4행정 기관의 연소실 압력은 실린더 첫 번째에 압력 압전식(Piezo-electric type)의 압력변환기를 설치하였다.

기관회전수 각도는 동력계 회전축에 설치하여 회전수에 의한 TDC 각도로 설정하여 자동 설정에 의한 교정을 하였다. 연료소비율은 용적식유량계와 고정도 연료소비량계(FM-257)를 사용하였다. 기관에 공급하는 흡입공기량의 측정은 에어필터를 거쳐 오리피스식 공기유량계를 사용하였고, 흡입공기의 흐름을 균일하도록 서지탱크(Surge tank)를 설치하였다. 또한 배기배출물 분석기(Signal emiak rag 4873)를 사용하였고, 기관의 출력은 와류형 전기동력계를 사용하여 측면에 로드셀 설치하여 부하를 측정하였다.

본 실험기관은 디젤기관으로, 주요 제원 및 실험 연료는 Table 1에, 실험 장치도는 Fig. 2에 각각 나타내었다.

Table 1 Properties of test fuels

Item	Test fuels	
	Diesel fuel	Bio fuel
	0.8342	0.7852
Specific gravity (15/4℃)	51.4	58.67
Kinematic viscosity (cSt@40℃)	2.67	3.745
Flash point (℃)	75℃	128℃
Sulfur (%)	0.04	0
Water (%)	0	0.1387
Lower heating value (MJ/kg)	42.8	36.76
Carbon (wt.%)	85.83	77.29
Hydrogen (wt.%)	13.82	12.68
Nitrogen (wt.%)	0.16	0.08
Oxygen (wt.%)	0	9.7

Table 2 Engine fuel control system

Engine fuel temp. control system	
Supply fuel pressure	0~0.5 bar
Water amount	1~2 kg/cm ² , 30 ℓ/min, 25℃
Control temp.	±1℃
Max. supply	7 ℓ/min
Setting temp.	30~60℃
Cooling amount	9 kW (7,500 kcal/h)
Heating amount	6 kW (5,000 kcal/h)
Max. pressure	5 bar
Max. water temp.	25℃
Max. pressure	5 bar
Required pressure	2 bar
Water circulation pump	25 ℓ/min
Max. pressure build	0.4 bar
Capacity AT back pressure	
Max. pressure	0.5 bar
Max. water temp	110℃

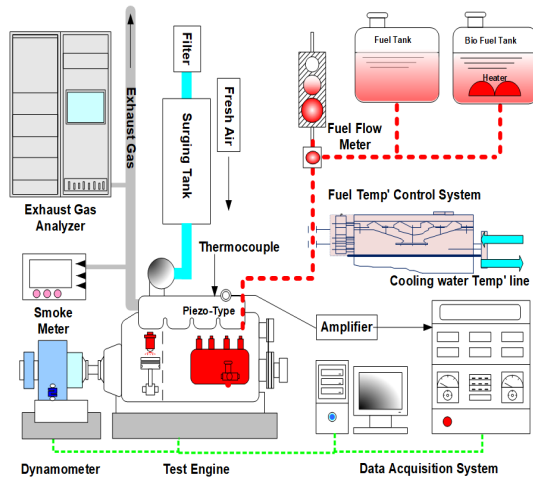


Fig. 2 Brake specific fuel consumption on various of Bio fuel temperature and Bio fuel ratio at 1,800 rpm

2.3 실험방법

본 실험방법은 분사 바이오연료 온도 조절기 (FTCH-0906)를 사용하여 연료온도를 15℃로 일정하게 하였다. 기관회전속도 1,800 rpm의 경우에 대하여 기관부하를 0%에서 100%까지 25% 간격으로 조정하였으며, 바이오연료의 비율은 10%, 20%, 30%로 조정하였고, 분사 바이오연료 온도는

15℃ 기준에서 20℃, 30℃ 간격으로 일정하게 온도를 유지하여 실험하였다.

동일한 실험 조건 하에서 기관회전수의 오차 변동율은 ±0.5%, 기관부하의 오차 변동율은 ±1.5% 이하였다. 그리고 3개의 파라미터 회전수와 기관부하를 고정하고 바이오연료를 변화시키면서 실험하였다.

기관의 열교환기 방식은 수냉식을 이용하여 실험하는 동안 기관의 냉각수와 윤활유 온도를 일정하게 유지하였고, 기관의 작동 및 연소 상태를 파악하기 위하여 지압선도를 취득하고, 각 부위 (배기관 입출구, 냉각수 입출구, 윤활유, 흡입공기)의 온도를 측정하였다. 동력계는 표준중량(5 kg) 추를 사용하여 압축·인장의 보정 실험을 하여 정확한 토크 값을 확인한 후 동력을 측정하였다.

또 배기 배출가스 분석기와 PM 측정기를 “0”점 조정하고, 표준가스(측정범위 80%인 보정용 가스) 농도와 일치하도록 보정 실험을 한 후에 각종 배기배출물을 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 연료소비율

Fig. 3은 실험엔진 회전수 1,800 rpm에서 바이오 연료 비율과 바이오연료 온도변화에 따른 연료소비율을 나타낸 그래프이다. 연료소비율은 부하가 증가하면서 전체적으로 일정하게 감소하는 경향이지만 전부하에서는 약간 증가한다. 연료소비율은 바이오 혼합비율이 증가하면서 약간 증가하였고, 바이오연료 온도 증가에 따라 연료소비율은 일정하게 약간씩 증가하는 경향이다. 바이오연료 혼합비율에 대한 온도 기준으로 증가율을 살펴보면, 15℃ 100% 0.11%, BDF 30 100% 0.37%, 바이오연료 온도 30℃ 경우에 BDF 10 100% 0.26%, BDF 30 100% 1.45%로 증가하는 경향으로 나타났으며, 전체적인 바이오연료 비율과 온도 상승비율이 연료소비율에 큰 영향 없이 사용 가능함을 알 수 있었으며, 바이오연료에 대한 날씨 변화에 따른 추운 겨울에 점도가 높아지고, 유동성이 저하로 인한 단점을 적절한 바이오연료 온도를 유지 조절하여 지속 가능한 연료로 판단된다. 전체적인 연료소비율이 약간씩 증가하지만 사용 가능하다고 판단된다.^{2,8)}

3.2 실린더 압력(Cylinder pressure)

Fig. 4는 연소실 실린더압력 그래프이며, 기관 회전수 1,800 rpm에서 부하증가에 따라서 일정하게 증가하였으며, 바이오연료 비율이 DF 100%에서 BDF 30%까지 바이오연료 온도변화에 따른 압력을 나타내는 그래프이며, Fig. 4에도 15℃에서 바이오연료 혼합비율이 증가하여도 일정하게 나타나고 있으며, 바이오연료 혼합비율에 대한 온도 기준으로 평균 감소율을 살펴보면, 15℃ 부하 100%에는 BDF 10 -1.47%, BDF 30 30℃ -1.30%, 감소하였으나, 바이오연료 온도가 상승하면서 증가율이 증가하였다. 바이오연료 15℃ 온도에 대한 기준으로 BDF 20 평균 증가율을 살펴보면, 20℃ 0.36%, BDF 30 30℃ 1.40%로 증가하는 경향을 알 수 있었다.

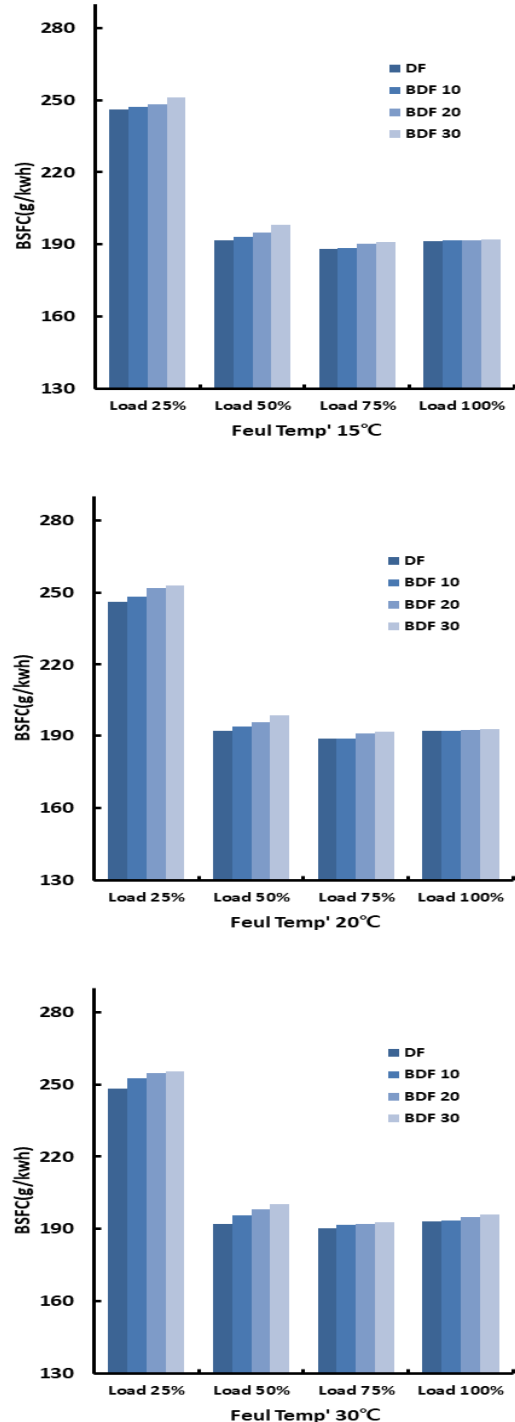


Fig. 3 Brake specific fuel consumption on various of Bio fuel temperature and Bio fuel ratio at 1,800 rpm

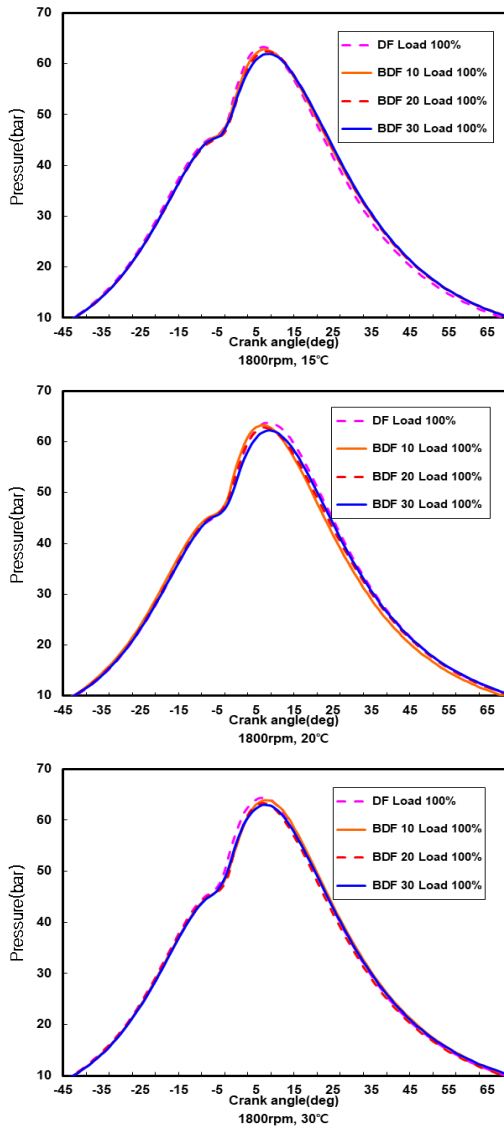


Fig. 4 Cylinder pressure on various Bio fuel temperature and Bio fuel ratio at 1,800 rpm

본 실험 결과, BD 10%, BD 20%, BD 30% 혼합 비율이 증가하면서 약간 감소하였으며, 바이오연료 온도 15℃, 20℃, 30℃에서는 약간 증가하였다. 바이오연료 온도가 상승하면서 증가율이 증가하였다. 실험 결과, BD 10%, BD 20%, BD 30% 혼합비율이 증가하면서 바이오연료 소비율이 증가되었으며, 또한 바이오연료 온도 15℃, 20℃, 30℃에

는 약간 증가하였다. Table 1에 디젤경유에 비하여 바이오연료의 발열량이 14% 정도 낮기 때문이며 실험 결과, 그래프 값도 일치하게 나타났다. 바이오연료 특성에 점도가 순수 디젤경유보다 높아 연료 미립화 현상이 저하 되어서 착화 지연 현상이 발생된다고 생각된다. 하지만 바이오연료 온도가 상승함에 따라서 약간 연료소비율이 증가하여 실린더 압력도 점진적으로 상승되어 발열량에 비하여 압력은 비슷하게 유지되었고, 이러한 연구 결과도 비슷한 경향으로 보고되고 있다.^{3,9)}

3.3 열발생율(Rate of heat release)

Fig. 5는 열발생율 그래프이며 바이오연료 15℃에서 바이오연료 비율이며, 기관회전수 1,800 rpm에서 부하변화에 따른 바이오연료 비율과 바이오연료 온도변화를 나타내었다.

바이오연료 혼합비율에 대한 온도 기준으로 평균 감소율을 살펴보면, 바이오연료 혼합비율에 대한 온도 기준으로 평균 감소율을 살펴보면, 15℃ 부하 100%에는 BDF 10 -3.87%, BDF 30 30℃ -2.10%, 감소하였으나, 바이오연료 온도가 상승하면서 증가율이 증가하였다. 바이오연료 15℃ 온도에 대한 기준으로 BDF 20 부하 100%에 평균증가율을 살펴보면, 20℃ 2.56%, BDF 30 30℃ 6.00%로 증가하는 경향을 알 수 있었다. 바이오연료 온도 비율 경향은 부하변화에 의하여 일정하게 증가하는 경향을 나타내고 열발생율 상승률도 일정한 간격으로 상승함을 알 수 있었는데, 이러한 영향은 바이오연료에 포함된 산소성분의 영향으로 착화시기를 빠르게 하는 영향이 있다는 연구가 있다. 또한 바이오연료 상승에 의한 연료 미립화 저하 현상을 저감하였고 분사된 연료 활성화로 완전연소에 영향을 주었다고 생각된다.^{1,7)}

3.4 질소산화물(NOx)

질소산화물은 Fig. 6과 같다. 부하가 증가할수록 일정한 곡선으로 많이 증가하였으며, 바이오연료 비율이 증가할수록 부하 특성에 따라 증가하였으며, 고부하에서는 급격하게 증가하는 현상을

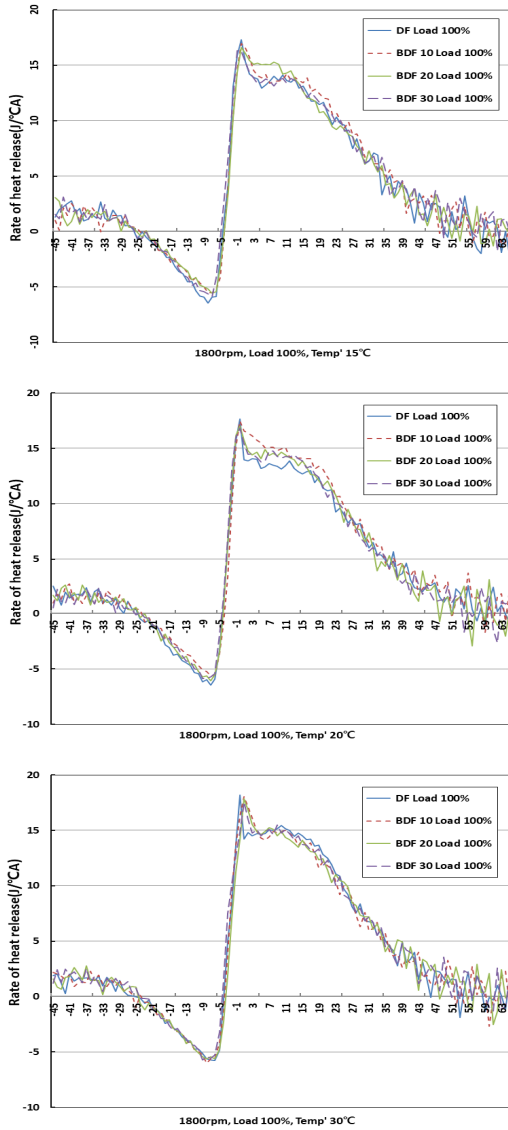


Fig. 5 Rate of heat release on various Bio fuel temperature and Bio fuel ratio at 1,800 rpm

보였다. 또한 바이오연료 온도 증가에는 약간씩 증가하는 경향을 보였다. 바이오연료 혼합비율에 BDF 10 100% 6.28%, BDF 30 100% 9.91%, 바이오연료 온도 30°C 경우에 BDF 10 100% 4.21%, BDF 30 100% 9.99%로 증가하는 경향으로 나타났으며, 그 이유는 디젤엔진에서 질소산화물은 연소실 환경이 고온, 고압 연소과정 중 확산단계 반응 영역 연료가 농후한 쪽에서 활성화되어 많이 발

생하며, 그 영역이 고온일수록 크게 증가한다. 또한 바이오연료 온도 상승으로 연료입자의 점성력 및 표면장력이 감소하여 입자의 미립화가 잘 이루어져 기화가 촉진되었고, 바이오연료 함 산소량의 영향으로 연소 활성화에 기인하여 증가된 것으로 판단된다. 그러므로 부하가 증가하면서 고온영역이 형성되어 증가한다는 연구와 비슷하였다.^{4,5)}

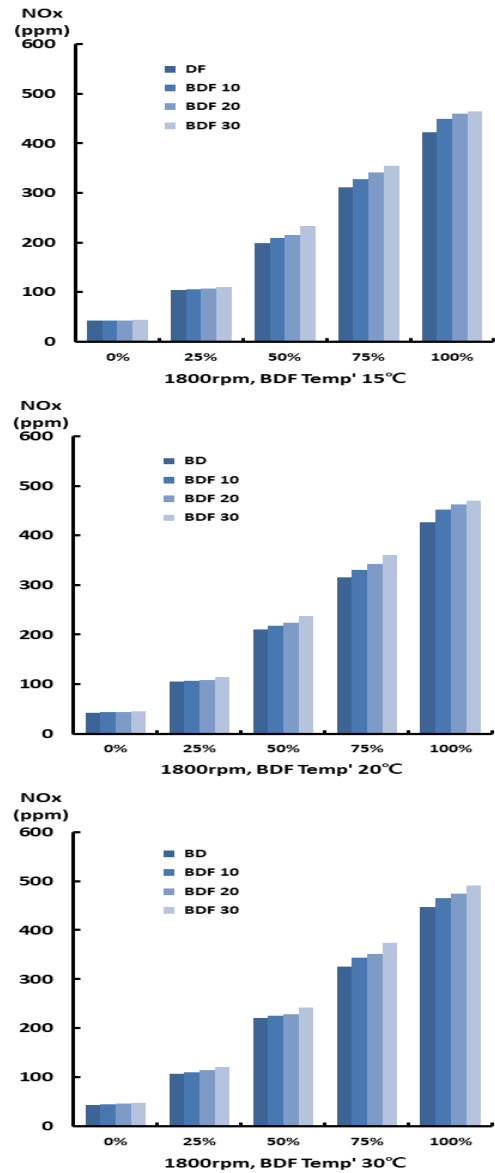


Fig. 6 NOx on various Bio fuel temperature and Bio fuel ratio at 1,800 rpm

3.5 입자상 물질(PM)

입자상 물질은 Fig. 7과 같다. 부하가 증가할수록 많이 증가하였으며, 바이오연료 비율이 증가할수록 부하 특성에 따라 감소하였다. 15℃ BDF 10 100% -3.05%, BDF 30 100% -8.51%, 30℃ BDF 10 100% -5.23%, BDF 30 100% -9.62%로 감소하는 경향으로 나타났으며, 그 이유는 디젤엔진에서 입자상 물질은 확산단계 반응영역 연료가 농후한 쪽에서 많이 발생하고, 그 영역이 고온일수록 크게 증가한다.²⁾ 또한 연료온도 상승으로 연료입자의 미립화가 잘 이루어져 기화가 촉진되었다. 그러므로 부하가 증가하면서 고온영역이 형성되어 감소되었다고 생각된다.

바이오 혼합연료의 첨가 비율이 증가할수록 감소하는 경향이다. 디젤경유에 비해서 바이오 혼합연료 15℃ 부하 100%의 경우, BDF 10, 20, 30에서 평균 -5.41%, 20℃ 부하 100%의 경우, BDF 10, 20, 30에서 평균 -3.22%, 30℃ 부하 100%의 경우, BDF 10, 20, 30에서 평균 -7.11% 감소율이 나타났다.⁴⁾

4. 결 론

디젤엔진에서 바이오연료를 추운 환경에서 지속 가능한 연료의 조건을 찾아 기초실험 연구자료에 도움이 되고자 한다. 본 실험은 바이오연료 비율 및 바이오연료 온도 15℃ 기준으로 증가시킨 기초 연구 결과이다.

1) 바이오연료 소비율은 온도변화에 따라 일정하게 약간씩 증가하였다. 바이오연료 온도변화는 15℃에서 부하 100% 경우, 0.24%, 20℃에서 부하 100% 경우, 0.26%, 30℃에서 부하 100% 경우, 0.88%로 증가하였다.

2) 실린더압력은 바이오연료 혼합비율에 대한 온도 기준으로 평균 감소율을 살펴보면, 15℃ 부하 100%에는 BDF 10 -1.47%, BDF 20 20℃ -1.62%, BDF 30 30℃ -1.30%, 감소하였으나, 바이오연료 온도가 상승하면서 증가율이 증가하였다.

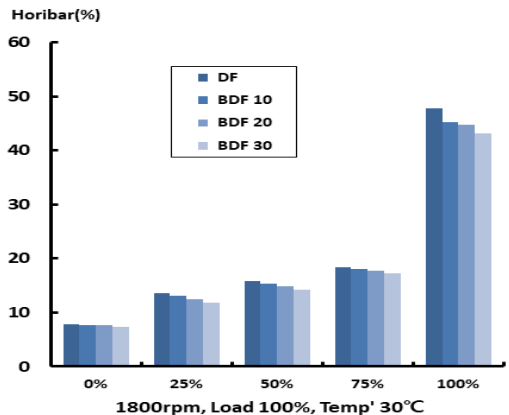
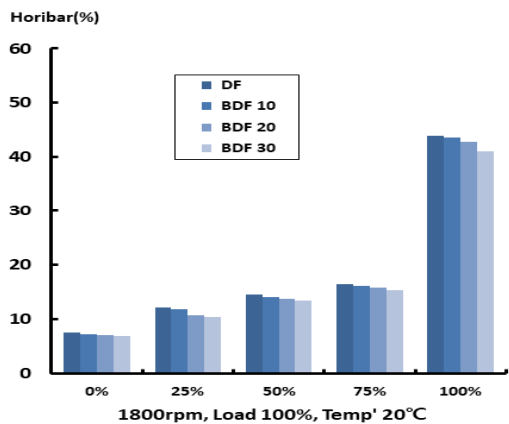
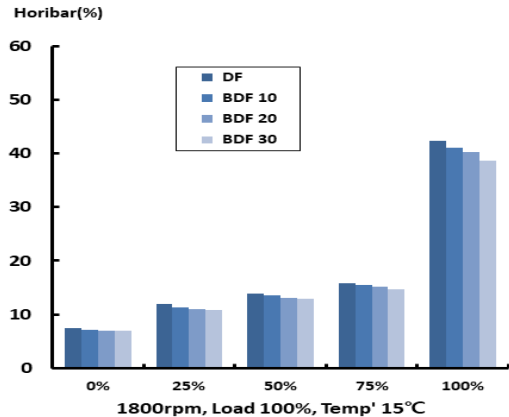


Fig. 7 PM on various Bio fuel temperature and Bio fuel ratio at 1,800 rpm

바이오연료 15℃ 온도에 대한 기준으로 BDF 20 평균 증가율을 살펴보면, 20℃ 0.36%, BDF 30 30℃ 1.40%로 증가하는 경향을 알 수 있었다.

3) 열발생율은 바이오연료 혼합비율에 대한 온도 기준으로 평균 감소율을 살펴보면, 15℃ 부하 100%에는 BDF 10 -3.87%, BDF 20 20℃ -3.00%, BDF 30 30℃ -2.10%, 감소하였으나, 바이오연료 온도가 상승하면서 증가율이 증가하였다.

4) 질소산화물은 바이오연료 혼합비율에 대한 온도 기준으로 15℃ 평균율 100% 8.34%, 20℃ 부하 100% 평균율 8.33%, 30℃ 부하 100% 평균율 6.78%로 나타내었다. 디젤엔진에서 연소과정 중 확산단계 반응영역 연료가 농후한 쪽에서 많이 발생하며, 그 영역이 고온일수록 크게 증가한다.

5) 입자상물질은 바이오 혼합연료의 첨가 비율이 증가할수록 감소하는 경향이다. 디젤경유에 비해서 바이오 혼합연료 15℃ 부하 100%의 경우, BDF 10, 20, 30에서 평균 -5.41%, 20℃ 부하 100%의 경우, BDF 10, 20, 30에서 평균 -3.22%, 30℃ 부하 100%의 경우, BDF 10, 20, 30에서 평균 -7.11% 감소율이 나타났다.

Author contributions

S. G. Cho; Project administration, Supervision, Writing-review & editing, Investigation, Formal analysis.

References

1. B. Tormos, R. Novella, A. Garcia and K. Gargar, 2010, "Comprehensive Study of Biodiesel Fuel for HSDI Engine in Conventional and Low Temperature Combustion Conditions", *Renewable Energy*, 35(2), 368-378.
(<https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.07.001>)
2. E. S. de C. Freitas et al., 2022, "Emission and Performance Evaluation of a Diesel Addition Using Addition of Ethanol to Diesel/Biodiesel Fuel Blend", *Energy*, 15(9), 2988.
(<https://doi.org/10.3390/en15092988>)
3. J. C. Ge, S. K. Yoon and J. H. Song, 2021, "Comparative Evaluation on Combustion and Emission Characteristics of a Diesel Engine Fueled with Crude Palm Oil Blends", *Applied Sciences*, 11(23), 11502.
(<https://doi.org/10.3390/app112311502>)
4. J. K. Yeom and J. H. Yoon, 2015, "Statistical Analysis of Experimental Results on Emission Characteristics of Biodiesel Blended Fuel", *The Korea Society of Mechanical Engineers A*, 39(12), 1199-1206.
(<http://doi.org/10.3795/KSME-A.2015.39.12.1199>)
5. J. P. G. Shou, M. Obounou, R. E. Tchame, M. H. Babikir and T. C. Kofane, 2021, "Combustion Characteristics and NO Formation Characteristics Modeling in a Compression Ignition Engine Fuelled with Diesel Fuel and Biofuel", *Journal of Combustion*, 1, 1-13.
(<https://doi.org/10.1155/2021/7111040>)
6. K. Poyadji, M. Stylianou, A. Agapiou, C. Kallis and N. Kokkinos, 2018, "Determination of Quality Properties of Low-Grade Biodiesel and Its Heating Oil Blends", *Environments*, 5(9), 96.
(<https://doi.org/10.3390/environments5090096>)
7. K. S. Jeong, D. G. Lee, H. G. Roh and C. S. Lee, 2011, "Effect of Pilot Injection on Combustion and Exhaust Emissions Characteristics in a Biodiesel Fueled Diesel Engine", *Journal of the Korean Society of Combustion*, 16(4), 1-7.
8. S. Y. Ahn, W. I. Kim and C. S. Lee, 2013, "A Study on Spray Characteristics of Biodiesel Derived from Waste Cooking Oil", *Journal of Illass-Korea*, 18(4), 182-187.
(<https://doi.org/10.15435/JILASSKR.2013.18.4.182>)
9. S. K. Yoon, M. S. Kim and N. J. Choi, 2014, "Characteristics of canola biodiesel fuel blended with diesel on the combustion and exhaust gas emissions in a compression ignition diesel engine", *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, 38(9), 1081-1086.
(<https://doi.org/10.5916/jkosme.2014.38.9.1081>)