

압축착화 디젤기관의 연소 및 배기가스에 대한 카놀라 바이오디젤 혼합 연료의 특성

윤삼기¹ · 김민수² · 최낙정[†]

(Received July 10, 2014 ; Revised October 28, 2014 ; Accepted November 18, 2014)

Characteristics of canola biodiesel fuel blended with diesel on the combustion and exhaust gas emissions in a compression ignition diesel engine

Sam Ki Yoon¹ · Min Soo Kim² · Nag Jung Choi[†]

요약: 본 연구는 4실린더 커먼레일 디젤기관에서 식물성 바이오 연료인 카놀라유(Canola oil)와 디젤연료를 혼합하여 사용하였을 때 바이오디젤 혼합율과 엔진 회전수 변화에 따른 연소 및 배기 배출물 특성을 조사하기 위하여 실험을 수행하였다. 실험 결과에 의하면 엔진 회전수 1,000, 1,500, 2,000(rpm)에서 연소 압력은 바이오디젤 혼합율이 증가할수록 감소하고, 2500rpm에서는 바이오디젤 혼합율이 증가할수록 증가 하였으며, 열 발생율은 바이오디젤 혼합율이 증가 할수록 모두 증가 하였다. 연료 소비율은 바이오디젤 혼합율이 증가할수록 엔진 회전수가 상승할수록 증가하였다. CO 배출물은 엔진 회전수가 상승할수록, 바이오디젤 혼합율이 증가할수록 감소하였다. CO₂, NO_x, 배출물은 엔진 회전수가 상승할수록 바이오디젤 혼합율이 증가할수록 증가하였다.

주제어: 연소압력; 바이오디젤 혼합 연료; 배기 배출물; 제동 연료소비; 열발생율

Abstract: An experimental study was performed in order to compare with the case of using pure diesel the characteristics of combustion pressure and exhaust emissions when the engine speed was changed in a CRDI 4-cylinder diesel engine using biodiesel(Canola oil) blended and pure diesel fuel. As a results, the combustion pressure was decreased with increasing biodiesel blended rate when engine speed was 1,000, 1,500, 2000(rpm). but the combustion pressure of the engine speed 2,500rpm was increased with increasing biodiesel blended rate. The emission results show, that CO was decreased with increasing biodiesel blended rate and engine speed. The emission of CO₂, NO_x, were increased with increasing biodiesel blended rate and engine speed.

Keywords: Combustion pressure; Bio-diesel blended fuel; Exhaust emission; Brake specific fuel; consumption, Rate of heat release; Exhaust emission

1. 서 론

최근 지구 온난화 현상으로 심각한 사회 문제가 대두되고 있다. 온난화 현상의 주범인 온실가스의 영향으로 오존층의 파괴, 폭염, 태풍을 동반한 기후 이상 변화 현상이 나타나고 있으며, 온난화를 일으키는 주요인은 이산화탄소로 알려져 있으며, 저감하기 위한 연구를 진행하고 있다.[1] 또한 세계 각국은 자동차 배출가스의 대기 환경오염을 방지하기 위하여, 미국, 유럽 등 선진국에서는 Tier-II, EURO-V 등과 같은 배기가스 규제를 두고 있다. 이와 같이 자동차 배출가스 규제가 강화

됨에 따라 기관 내부 구조를 변경하거나, 배기가스 후 처리 장치인 SCR (Selective Catalytic Reduction), DPF (Diesel Particulate Filter)등을 이용하여 배출가스를 최소화 하고 있으며[2], 또한 배출가스 발생을 원천적으로 줄이기 위하여 바이오 디젤 (Biodiesel)유와 같은 대체 연료를 사용하여 디젤기관에 적용하는 연구를 진행하고 있다[3]. 특히 내연기관 중 디젤기관의 경우 가솔린기관 보다 연비가 우수하며, 일산화탄소 배출량이 현저히 적기 때문에 최근 디젤기관에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[4]. 그러나 디젤기관은 가솔린기관에 비하여 배기

[†] Corresponding Author (ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5607-7224>): Division of Mechanical Design Engineering, Chonbuk National University, E-mail: njchoi@jbnu.ac.kr, Tel: 063-270-4765

1 GM korea company, E-mail: sky596072@hanmail.net, Tel: 063-469-2742

2 Division of Mechanical Design Engineering, Chonbuk National University, E-mail: Kimms@jbnu.ac.kr, Tel: 063-270-4764

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

이 논문은 2014 한국마린엔지니어링학회/한국항해항만학회 공동학술대회에서 “압축착화 디젤기관의 연소 및 배기가스에 대한 카놀라 바이오디젤 혼합 연료의 특성”의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것입니다.

배출 물 중 입자상물질과 질소산화물 배출량이 상대적으로 많이 배출되는 단점이 있다. 따라서 입자상물질과 배기 배출 물을 저장하기 위한 여러 가지 방법 등이 모색되고 있으며[5], 그 방법의 하나로 식물성 바이오 연료와 기존의 디젤 연료를 혼합하여 사용하는 방법이 고려될 수 있다. 바이오 디젤유는 동식물성 기름에 있는 지방성분을 경유와 비슷한 물성을 갖도록 가공하여 만든 바이오연료로 바이오에탄올과 함께 가장 널리 사용되며, 디젤엔진에 주로 사용하는 경유와 혼합하여 사용하거나 그 자체로 차량 연료로 사용하고 있다. 바이오디젤유의 원료는 대두유, 옥수수유, 유채유, 등과 같은 식물성 유지뿐만 아니라, 다양한 동물성 유지를 원료로 사용할 수 있다.[6] 또한 디젤연료와 물성치가 비슷하면서, 독성이 없고, 생 분해도가 높으며, 저유황 디젤 연료에 비하여 세탄가가 높은 장점을 가지고 있을 뿐만 아니라, 분자 구조 내에 산소를 포함하고 있어 배기 배출량을 저감 할 수 있다고 알려져 있다[7].

따라서 본 연구에서는 커먼레일 4행정 사이클 4실린더 디젤 기관에서 바이오 디젤 혼합 연료를 사용하여, 다양한 혼합율과 엔진 회전수에 변화를 주었을 때 연소 및 배기 오염 물질 배출 특성을 실험적으로 비교 분석하였다.

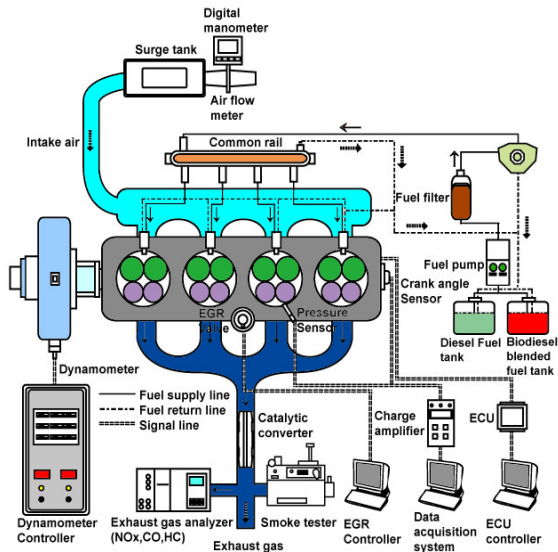


Figure 1: Schematic diagram of experimental apparatus

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

본 연구에서는 4실린더 커먼레일 디젤 기관에서 바이오디젤 혼합율과 엔진회전수 변화를 주었을 때 연소 및 배출가스 특성을 알아보기 위해 Figure 1과 같은 실험 장치를 구성 하였다. 실험 장치는 터보차저가 장착된 4실린더 전자 제어식 커먼레일 디젤기관과 220V 전원에 의해서 구동되는 연료 펌프를 장착한 연료 공급 장치, 배기가스 성분 분석을 위한 배기가스 분석 시스템, 기관 동력의 제어를 위한 와전류 타입의 EC 동력계(DY-230KW) 등으로 구성하였다. 실험용 기관의 연소 압력은 예

열 플러그가 장착된 자리에 압전 소자 방식의 압력 센서(Kistler, 6056a)를 장착하여 데이터를 DAQ보드(NI, PCI 6040E)모델을 사용하여 취득 하였으며, 실린더 내 연소 압력은 연소 해석 장치를 사용하여 분석하였다.

EGR은 배기가스가 수냉식 냉각기를 통하여 흡기로 들어가도록 하였으며, 재순환되는 가스 유량은 EGR제어 밸브를 컴퓨터로 듀티 제어를 할 수 있도록 하였다. 또한 배기가스 성분 분석을 위해서 그린라인(MK2)의 배기가스 측정 장비를 설치하였으며, 매연 검출을 위하여 부분 유량 채취 방식인 광투과 방식 매연 측정기(OPA-102)를 사용하여 측정하였다. 본 실험에 사용된 4실린더 커먼레일 디젤기관의 주요 제원은 Table 1과 같다.

Table 1: Specification of test engine

Item	Specification
Engine type	4-Cylinder turbo DI
Bore×Stroke(mm)	81×96
Displacement(cc)	1979
Injection procedure	1-3-4-2
Compression ratio	17.7 : 1
Max. power(kW/rpm)	82/4000
Max. torque(Nm/rpm)	260/2000
Max. speed(rpm)	4500
Fuel injection timing	ECU control
Fuel pressure(MPa)	145

2.2 실험방법

본 실험에서 식물성 바이오 연료인 카놀라(Canola)유와 디젤 연료를 다양한 체적비로 혼합하여 사용하였을 때 연소 및 배기 배출에 미치는 영향을 알아보기 위하여 EGR율을 제어 할 수 있는 EGR 제어 장치를 설치하여 EGR율을 0%로 고정하였다. 본 실험에 적용된 기관 회전 속도는 저속 및 중속 구간의 다양한 엔진 회전수를 (부하30Nm)설정 하였으며, 실험의 신뢰도를 확보하기 위해서 기관 냉각수 온도는 343±3K, 흡입 공기 온도는 293±3K로 유지 하면서 실험을 수행 하였다. EGR율의 변화는 EGR프로그램을 제어하는 EGR제어용 컴퓨터에서 주어졌으며, EGR율은 0%로 고정하고 실험을 실시하였다. 그리고 연소 특성인 연소 압력과 열 발생율은 연소 해석 장치를 통하여 200cycle의 평균값을 취득하였으며, 배기 배출물 성분 분석을 위해서 연소 안정화를 기다린 후 그린라인(MK2)의 배기가스 분석기를 통하여 NOx 배출 값을 실시간 확인 하였다. 그리고 매연은 부분유량 채취 방식인 광투과식 매연 측정기(OPA-102)를 사용하여 측정하였다. 또한 연료 분사 압력은 엔진 회전수에 따라 각각 30, 35, 45, 60(MPa)로 적용하였다.

Table 2는 본 연구를 수행하는데 사용된 디젤 연료와 바이오 디젤의 물리적 특성을 비교한 것이고, Table 3은 실험에 대한 상세 내용을 나타내었다.

Table 2: Property of diesel and biodiesel fuel

Characteristics	Diesel fuel	Biodiesel
Flash point(K)	342~361	455
Kinetic viscosity (mm ² /s@313K)	2.8517	4.29
Pour point(K)	-296	-284
Sulfur(%)	0.005	0.001
Specific gravity(288K)	0.8269	0.88
Calorific value(MJ/Kg)	43.96	39.17
Oxygen(wt%)	0	11.02

Table 3: Experimental and operating conditions

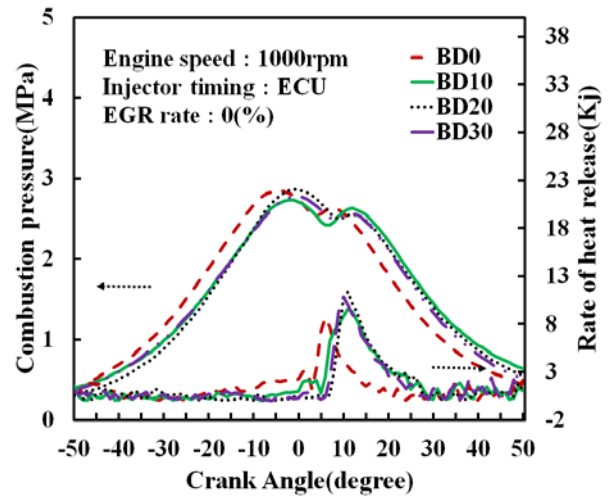
Engine speed(rpm)	1000, 1500 2000, 2500
Torque(Nm)	30
Injection timing	ECU control
Cooling water temp(K)	343±3
Intake air temp(K)	293±3
Biodiesel blending rate	BD0, BD10 BD20, BD30
Injection pressure(MPa)	30, 35, 45, 60

3. 실험 결과 및 고찰

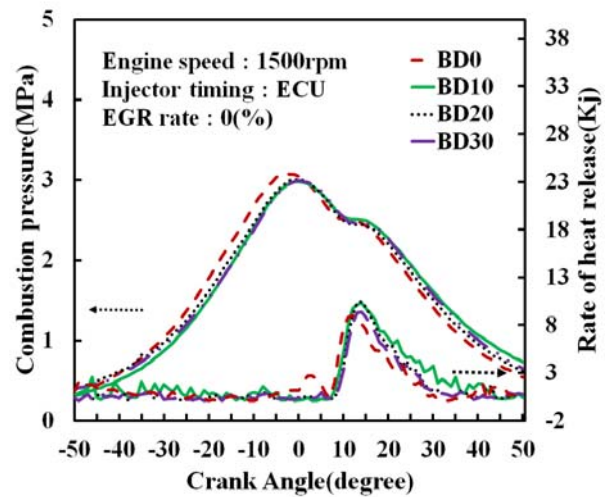
3.1 연소 특성

Figure 2는 EGR율을 0%로 고정하고 엔진 회전수 1,000, 1,500(rpm)의 중속이하 영역에서 바이오디젤 혼합율을 변화시켰을 때 연소 압력과 열 발생율을 나타낸 그래프이다. 그래프에서 보면, 바이오디젤 혼합율이 증가할수록 연소 압력은 감소하는 경향을 보여주고 있다. 이는 중속이하 엔진 회전수에서 연료 분사 압력이 낮고 바이오디젤의 점도가 순수 경유보다 높아 연료 미립화 현상이 저하 되어 착화 지연현상이 발생하여 연소압력이 감소한 것으로 판단된다. 또한 Figure 2에서 열 발생율을 보면, 바이오디젤 혼합율이 증가할수록 증가하는 경향을 보여주고 있다. 비록 연료 분사 압력이 낮아 연료 미립화 저하 현상이 일어나 착화 지연현상으로 열발생 시기는 지각되었지만 바이오디젤유 자체 내에 있는 합산소의 영향으로 연소 활성화가 촉진되어 열 발생율이 증가한 것으로 보인다.

Figure 3은 EGR율을 0%로 고정하고 엔진 회전수 2,000, 2,500(rpm)의 중속 이상에서 바이오디젤 혼합율을 변화시켰을 때 연소 압력과 열 발생율을 나타낸 그래프이다. 그래프에서 보면 엔진 회전수 2,000rpm에서는 Figure 2와 동일한 현상과 결과를 보였고 엔진 회전수 2,500rpm에서 연소 압력은 바이오디젤 혼합율이 증가할수록 증가하고 열 발생율도 증가하는 경향을 보이고 있다. 엔진 회전수 2,500rpm에서는 바



(a) Engine speed 1000rpm

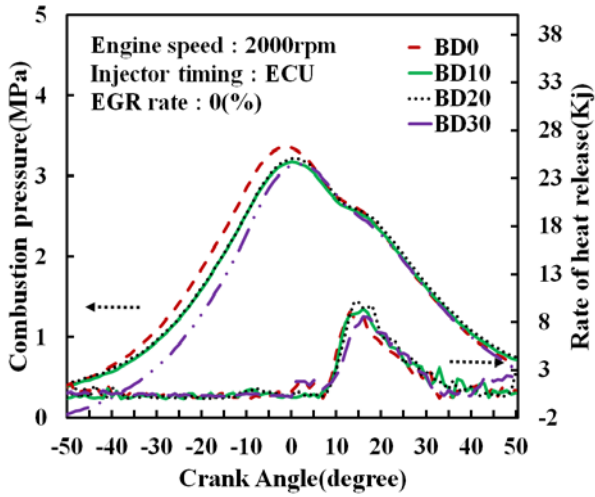


(b) Engine speed 1500rpm

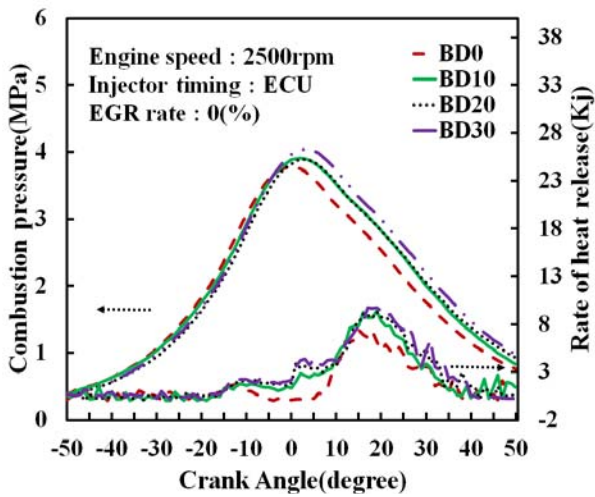
Figure 2: Effect of various biodiesel blending rate on combustion characteristics (a)1,000rpm, (b)1,500rpm

이오디젤유의 동점도가 낮아도 연료 분사 압력이 높고 바이오디젤유 자체 내에 산소 성분을 함유하고 있어 연료 미립화 저하 현상에 의한 착화지연 현상이 발생했음에도 불구하고 연소 촉진 현상이 활발하게 일어나 순수 경유보다 연소압력과 열 발생율이 증가한 것으로 보인다.

Figure 4는 EGR율을 0%로 고정하고 엔진 회전수와 바이오디젤 혼합율에 변화를 주었을 때 연료 소비율을 나타낸 그래프이다. 그래프에서 보면 바이오디젤 혼합율과 엔진 회전수가 증가할수록 연료 소비율은 증가하는 것으로 나타났다. 특히 엔진 회전수 1,000rpm에서 BD20이후부터 연료 소비량이 급격히 증가한 결과를 나타냈다. 이로 보아 바이오디젤유가 순수 경유보다 발열량이 낮고 점도도 높아 동일 출력을 유지하기 위하여 연료 분사량이 증가한 것으로 판단된다.



(a) Engine speed 2000rpm



(b) Engine speed 2500rpm

Figure 3: Effect of various biodiesel blending rate on combustion characteristics (a)2,000rpm, (b)2,500rpm

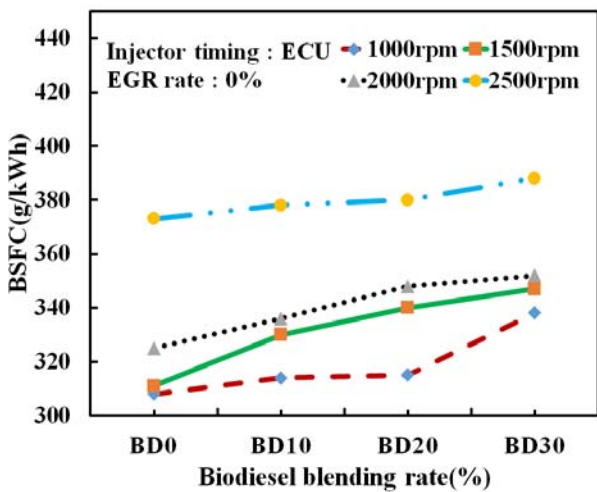
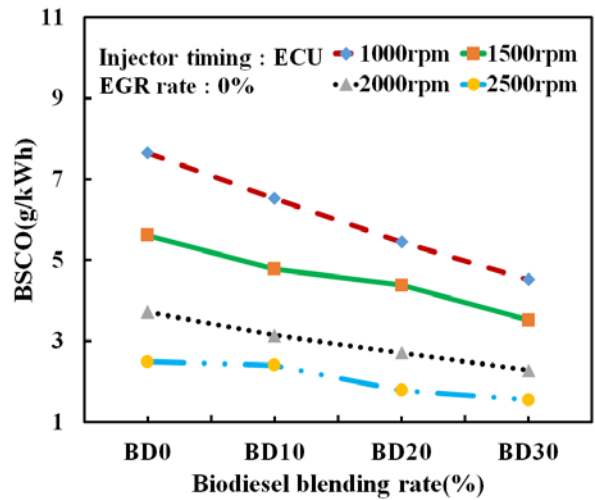


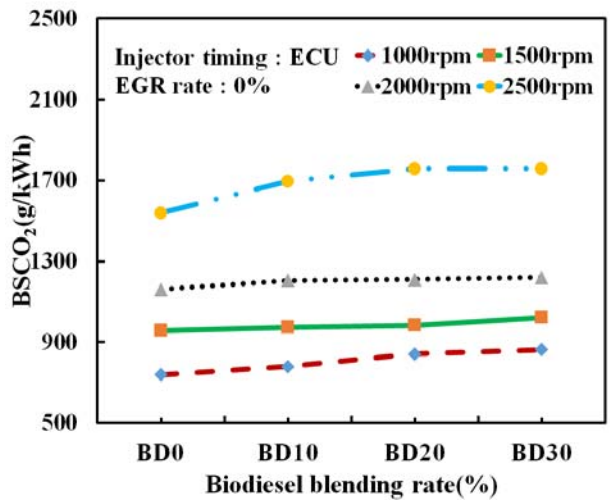
Figure 4: Effect of brake specific fuel consumption on various biodiesel blending rate and engine speed

3.2 배기 특성

Figure 5(a)는 EGR율을 0%로 고정하고 엔진 회전수와 바이오디젤 혼합율에 변화를 주었을 때, 일산화탄소 배출가스 특성을 보여주고 있다. 그래프에서 보면 일산화탄소는 엔진 회전수와 바이오디젤 혼합율이 증가할수록 감소하는 경향을 보여주고 있다. 이는 바이오디젤 혼합율이 증가할수록 연료 자체 내에 포함되어 있는 함산소의 영향으로 연소실에서 연료의 연소 활성화에 긍정적인 영향을 미치어 일산화탄소 배출가스 배출량은 줄어드는 것으로 보인다. 또한 엔진 회전수가 증가할수록 연료 분사 압력이 증가하여 연소실에서 연료 미립화 현상이 촉진되고 연소 활성화가 활발하게 일어나면 착화 지연 현상이 줄어들게 되어 연소 후 배출되는 일산화탄소 배출량은 현저하게 줄어드는 것으로 판단된다.



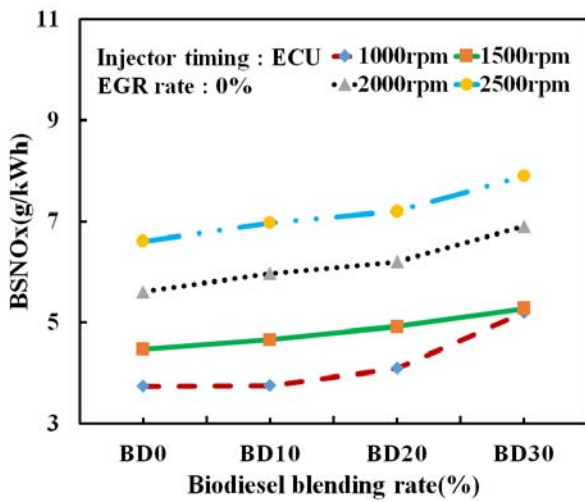
(a) CO Emission



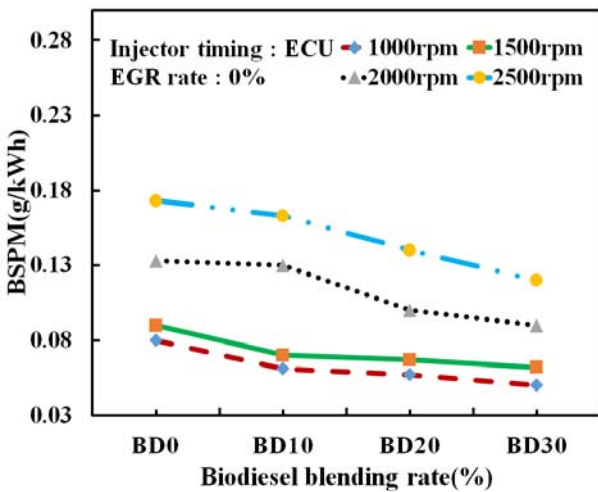
(b) CO₂ Emission

Figure 5: Effect of various biodiesel blending rate and engine speed on the (a)CO and (b)CO₂ emissions

Figure 5(b)는 EGR율을 0%로 고정하고 엔진 회전수를 증가하며, 바이오디젤 혼합율에 변화를 주었을 때 이산화탄소 배출가스 특성을 보여준다. 그래프에서 보면, 엔진 회전수가 증가 하고 바이오디젤 혼합율이 증가 할수록 이산화탄소 배출량은 다소 증가하는 경향을 보여 주고 있다. 이는 바이오디젤유 자체 내에 포함된 함산소 성분의 증가로 인해 연소후 배출량이 증가된 것으로 보이며, 특히 엔진 회전수 2,500rpm에서는 이산화탄소 배출량이 현저하게 증가되었는데 이는 연료 분사압력의 증가로 인하여 연료 미립화 현상이 촉진되었고 연소 활성화가 증가되어 배출량이 증가된 것으로 보인다.



(a) NOx Emission



(b) PM Emission

Figure 6: Effect of various biodiesel blending rate and engine speed on the (a)NOx and (b)PM emissions

Figure 6(a)는 EGR율을 0%로 고정하고 바이오디젤 혼합율과 엔진 회전수 변화에 따른 질소산화물 배출량 특성을 나타낸 그래프이다. 그래프에서 보면, 바이오디젤 혼합율이

증가할수록 엔진 회전수가 높을수록 질소산화물 배출량이 증가한 것으로 나타났다. 질소산화물 배출 가스는 연소실의 환경이 고온, 고압에서 즉 연소실의 연소 활성이 활발할 때 배출량이 증가하므로 바이오디젤유 자체내에 포함되어 있는 함산소의 영향으로 연소 활성이 촉진된 것으로 판단된다.

Figure 6(b)는 매연 배출량 특성을 나타낸 그래프로 엔진 회전수가 증가할수록 매연 배출량은 증가하고, 바이오디젤 혼합율이 증가할 수 록 감소하고 있다. 매연 배출량의 증가는 불완전 연소에 의한 즉 착화지연에 의한 연소 활성화 저하 현상으로 배출량이 증가한 것으로 보이며, 바이오 디젤유 혼합율이 증가할수록 매연 배출량이 감소한 이유는 바이오디젤유 자체 내에 함산소 성분의 증가로 연소 활성화 영역의 증가로 인하여 감소한 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구는 4행정 사이클 4실린더 커먼레일식 디젤 기관에서 바이오디젤유 혼합율과 엔진 회전수 변화에 따른 기관의 연소 특성 및 배기 배출량에 미치는 영향을 조사하기 위하여 실험을 수행 하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 엔진 회전수 1,000, 1500, 2000(rpm)에서 연소압력은, 바이오디젤 혼합율이 증가할수록 감소하고, 2500rpm에서는 바이오디젤 혼합율이 증가할수록 증가하였으며, 열 발생율은 바이오디젤 혼합율이 증가할수록 모두 증가하였다. 이로 보아 바이오디젤유는 순수 경유에 비해 동점도가 높아 연료 분사 압력이 낮은 경우 연료 미립화 현상이 저하되어 착화지연 현상으로 인해 연소 촉진이 활발하지 못해 연소 압력이 낮은 것으로 판단된다.

2) 연료 소비율은 바이오디젤 혼합율이 증가할수록 엔진회전수가 상승 할수록 증가하였고, 특히나 엔진 회전수 1,000rpm에서 BD30일 때 연료 소비율이 높게 나타났다. 이는 낮은 연료 분사 압력과 착화 지연현상으로 연소 활성화가 저하되어 동일 출력을 얻기 위하여 연료 분사량이 증가된 것으로 판단된다.

3) 일산화탄소 배출량은 엔진 회전수가 상승 할수록 바이오디젤 혼합율이 증가할수록 감소하였다. 이는 엔진 회전수가 낮을수록 착화지연현상으로 인하여 연소 활성화가 저하되어 배출량이 많았으며, 바이오디젤 혼합율이 증가할수록 함산소 성분의 증가로 연소 활성화가 촉진되어 감소하였다.

4) 이산화탄소 와 질소산화물 배출량은 바이오디젤 혼합율이 증가할수록 엔진 회전수가 상승 할수록 증가 하였으며 바이오디젤 혼합율이 증가할수록 함산소 성분의 증가로 연소 활성화가 촉진되어 배출량이 증가하였다.

5) 매연 배출량은 엔진 회전수가 낮을수록 연료 분사량 자체가 작아 낮게 나타났으며, 바이오디젤 혼합율이 증가할수록 함산소 성분의 증가로 연소 활성화가 촉진되어 배출량이 감소한 것으로 보인다.

References

- [1] J. A Lim, Y. I Yoon, S. C Nam, and S. K Jeong, "Post-combustion CO₂ capture with potassium L-lysine," The Korea Academia Industrial Cooperation Society, vol. 14, no. 9, pp. 4635-4642, 2013 (in Korean).
- [2] H. Yongsheng, B. B. David, L. Shuguang, J. P. Micheal, and L. Jianwen, Opportunities and Challenges for Clended 2-Way SCR/DPF After-Treatment Technologies, SAE Technical Paper, 2009-01-0274, 2009.
- [3] Y. T. Seo, H. K. Suh, and C. S. Lee, "Spray and combustion characteristics on biodiesel blends with diesel fuel according to split injection system," Proceedings of the Korean Society of Automotive Engineers fall Conference, pp. 638-643, 2007.
- [4] S. K Yoon and N. J Choi, "The effects of partially premixed pilot injection timing on the combustion and emission characteristics in a common rail diesel engine," Journal of the Korean Society for Power System Engineering, vol. 17, no. 6, pp. 18-24, 2013 (in Korean).
- [5] S. C. Kim, "A study on the characteristics of fuel consumption and emissions of diesel vehicles using engine coolant flow rate on/off control," Journal of the Korea Academia Industrial Cooperation Society, vol. 14, no. 5. pp. 2069-2074, 2013 (in Korean).
- [6] D. Y. Chang and J. H. Van Gerpen, Determination of Particulate and Unburned Hydrocarbon Emissions From Diesel Engines Fuled with Biodiesel," SAE Technical Paper, 982527, 1998.
- [7] A. Demirbas, "Relationships derived from physical properties of vegetable oil and biodiesel fuels," Journal of Fuel, vol. 87, pp. 1734-1748, 2008.