

선박디젤기관에서 바이오디젤연료의 연소특성에 대한 실험적 연구 An Experimental Study on Combustion Characteristics of Biodiesel Fuel in Marine Diesel Engine

조상곤*†
Sang-Gon Cho*†

(Received 24 February 2015, Revision received 3 June 2015, Accepted 3 June 2015)

Abstract: Environmental pollution is produced by consumption of fossil fuel, therefore alternative fuels is interested for development of new energy resources and reduction of exhaust emissions for air pollution prevention. Biofuels are produced from new vegetable oil and animal fat, may be used as fuel without change of engine structure in diesel engine. In this paper, the test results on specific fuel consumption, combustion characteristics of neat diesel oil and biodiesel blends(10 vol.% biodiesel and 20 vol.% biodiesel) were presented using four stroke, direct injection diesel engine, especially this biodiesel was produced from biodiesel fuel at our laboratory by ourselves. This study showed that specific fuel consumption is increased slightly, on the other hand cylinder pressure, rate of pressure rise, rate of heat release and soot were decreased slightly in the case of biodiesel blends than neat diesel oil

Key Words : Biodiesel blend fuel(BDF 10%, 20%), Brake specific fuel consumption, Cylinder pressure, Rate of pressure rise, Rate of heat release, Soot

1. 서 론

최근 환경오염으로 인한 온실가스를 저감할 수 있는 친환경 재생에너지에 많은 관심과 연구가 활발히 진행되고 있다. 하지만 현재 많이 사용되는 디젤기관으로부터 배출되는 여러 가지 대기오염물질이 환경오염의 원인이 되므로 대기오염원을 줄이기 위하여 전 세계적으로 다양한 기술이 연구되고 있으며 유해배출가스를 규제하기 위한 규정도 강화되고 있다. 자연의 식물에서 재배하면서 CO₂를 흡수하고 있는 친환경 재생에너지인 바이오연료를 선박기관에 적용하여 연구하고자

한다.

바이오디젤연료의 성분은 메탄올이나 에탄올과 같은 알콜에 자연오일이나 지방을 화학적으로 결합하여 만든 대체연료이다. 바이오디젤연료는 식물성 오일이나 동물성지방과 같은 재생 가능한 자원으로서 환경적으로 유익하고 미생물은 안전하게 분해하며 재생성이 좋고, 화석연료보다 대기오염이 적은 것이 특징이다. 또한 바이오디젤연료는 물리적·화학적 성질이 유사하여 경유를 대체 또는 혼합하여 디젤기관에 수정 없이도 사용할 수 있는 연구 결과도 있다.

Hayes 등¹⁾은 자동차의 배기배출물에 대한 바이

*† 조상곤(교신저자) : 군산대학교 실습선 해림호
E-mail : haerimho@kunsan.ac.kr, Tel : 063-469-1727

*† Sang-Gon Cho(corresponding author) : Kunsan National University.
E-mail : harimho@kunsan.ac.kr, Tel : 063-469-1727

오디젤혼합유의 영향에 대하여 연구하였고, Lim 등²⁾은 배기배출물에 대한 바이오디젤유의 영향에 대하여 연구하였고, Jang³⁾은 연소특성에 대하여 연구하였다.

본 연구에서 선박디젤기관을 리모델링하여 선박기관인 직접분사식 4행정 디젤기관에 유채유⁴⁾(BDRF), 대두유⁵⁾(BDSF) 그리고 폐유채유^{6,7)}(BDWRF)로부터 바이오디젤연료를 실험실에서 직접 제조하여 경유와 섞은 혼합유를 사용해서 기관의 연소특성에 미치는 영향을 분석·고찰하고자 한다.

2. 실험

2.1 바이오연료 제조

바이오원료를 대형 마트에서 판매하는 곳에서 유채유(BDRF), 대두유(BDSF)를 각각 20통씩 구입하였고, 폐유채유(BDWRF)는 통닭집에서 회수하여 구입하였다.

이런 바이오원료는 촉매를 사용하는 방법으로 제조하였다. 교반하기 위하여 반응조 60리터에 약 36리터 폐식용유를 넣고 메탄올 7.2리터, 가성소다 324g을 섞은 후 교반통에 넣어 약 65℃에서 24시간 동안 교반 제조하였다.

반응 후 24시간 정도 상온에 방치하여 글리세린 층을 바이오연료 층과 분리하기 위하여, 아래 글리세린 층을 따로 배출하였다. 상부 바이오연료 층을 다시 가열하여 약 150℃ 이전까지는 미반응 메탄올이 제거되었고 바이오연료층은 340~420℃ 구간에서 증류되었다. 그리고 폐식용유에 글리세린이 남아 있을 경우에는 한 번 더 반응조에서 증류하였으며, 증류된 바이오연료는 중화과정 없이 실험에 사용하였고 경유와 비교한 그의 물성치는 Table 1과 같다.

분석법

글리세린 분석은 ASTM 1615-60법을 사용하였고, 다음 식에 의하여 유지의 전환율이 계산되었다.

$$\text{전환율}(\%) = \frac{\text{실제생성된 글리세린양}}{\text{이론적인생성글리세린양}} \times 100$$

Table 1 Properties of test fuels

Item	Test fuels	
	Diesel fuel	BDRF100
Flash point (°C)	75°C	128°C
Specific gravity (15/4°C)	0.8342	0.8752
Kinematic viscosity (cSt@40°C)	2.67	3.754
Sulfur (%)	0.04	0
Water (%)	0	0.1387
Calorific 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
Cetane number	51.4	58.67

2.2 실험장치

본 실험기관은 어선에서 사용하던 기관을 개조하여 실험실 장치에 설치하였으며, 선박용 디젤기관으로 주요 제원은 Table 2에 실험장치도는 Fig. 1에 각각 나타내었다.

기관의 출력은 와류형 전기동력계를 사용하여 측정하였고, 연소실의 압력측정은 첫 번째 실린더에 압전식(Piezo-electric type) 압력변환기를 설치하였다. 그리고 크랭크 각 1도마다 측정하였으며, 크랭크축과 직결로 엔코더를 설치하여 피스톤 TDC 시점부터 데이터를 수집하였다.

연소온도는 각 실린더의 연소실 내에 열전대(R-type)를 설치하여 측정하였으며, 연료소비율은 용적식 유량계 및 고정도 연료소비량계(FM-257)를 사용하였다. 연료온도를 일정하게 유지하기 위하여 연료온도 조절기(FTCH-0906)를 사용하였으며, 흡입공기량의 계측은 오리피스식 공기유량계와 유량계(50MC-4F)를 사용하였다. 그리고 기관의 흡기측에 서지탱크(Surge tank)를 설치하여 흡기의 흐름이 균일하도록 하였다.

또한 배기배출물 분석기(Signal emirak rag 4873), 매연은 광투과식(Mexa-130S)을 사용하였다.

2.3 실험방법

본 연구에서는 기관회전속도 1800rpm의 경우에 대하여 기관부하를 0%에서 100%까지 25% 간격

으로 연료온도를 15℃로 일정하게 유지하면서 바이오연료 혼합비를 체적으로 0%, 10%, 20%까지 간격으로 변화시키면서 실험하였다.

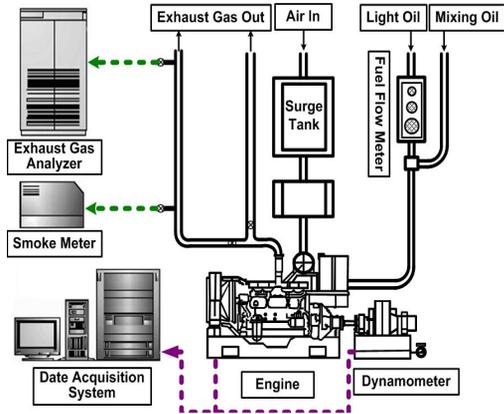


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

Table 2 Specification of test engine

Item	Specification
Number of cylinder	6
Type of engine	Water-cooled, supercharged
Cycle	4
Type of fuel injection	Direct injection
Bore× stroke (mm)	102 × 110
Piston displacement (cc)	5,393
Max. output	60kw/1,200 rpm
Compression ratio	17.5 : 1
Fuel injection timing	BTDC 22°CA
Firing order	1-5-3-6-2-4

3개의 파라미터 중 2개를 고정하고 하나만을 변화시키면서 실험하였다. 동일한 조건하에서 기관회전수의 변동율은 ± 0.5%이었고, 기관부하의 변동율은 ± 1.5% 이하이었다.

실험을 하는 동안 수냉식 열교환기를 사용하여 기관의 냉각수와 윤활유 온도를 일정하게 유지하였고 기관의 작동 및 연소 상태를 파악하기 위하여 지압선도, 각 부취(배기관 입출구, 냉각수 입출구, 윤활유, 흡입공기)의 온도를 측정하였다.

또 배기가스 분석기와 매연측정기를 “0” 점 조정하고, 표준가스(측정범위 80%인 보정용 가스)농

도와 일치하도록 보정실험을 한 후에 각종 배기 배출물을 측정하였으며, 동력계는 표준중량(5kg)의 추를 사용하여 압축·인장의 보정실험을 하여 정확한 토크 값을 확인한 후 동력을 측정하였다. 그리고 연료온도 조절기(FTCH-0906)를 사용하여 연료온도를 15℃로 일정하게 하였다. 기존 연료시스템 장치는 연료공급필터 전의 온도가 연료탱크의 온도보다 경유 및 바이오연료 온도가 약 3℃ 정도 상승하고 있고, 필터 후에서도 온도는 필터 전에서의 온도보다 상승하고 있었다. 또한 순환되는 연료온도는 공급연료보다 3℃ 정도 높게 나타나고 있어서 온도변화에 대한 편차가 없게 실험하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 실린더 압력

Figs. 2, 3은 실린더 압력을 나타내는 그래프이며, 바이오연료 체적비율이 증가할수록 감소하는 경향이다. 경유에 비해서 바이오연료 10%일 때 부하 100%는 BDRF - 1.73% 감소, BDSF - 0.53% 감소, BDWRF - 2.67 감소하였으며, 바이오연료 20%에서는 BDRF - 3.73% 감소, BDSF - 2.53% 감소, BDWRF - 4.66% 감소하였다. 바이오연료 10%의 평균 감소율은 -1.64이고, 20%의 평균 감소율은 -3.64%로 감소하였다.

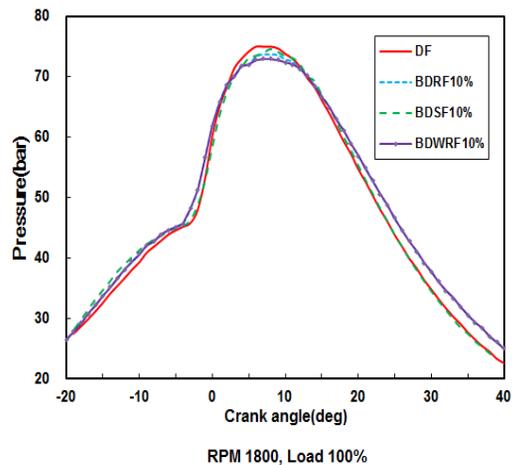


Fig. 2 Cylinder pressure on various biodiesel blend fuel 10% at 1,800rpm

그 이유는 경유에 비하여 바이오연료의 발열량이 14% 정도 적어서 연소실 압력이 감소한 것으로 생각된다⁸⁾.

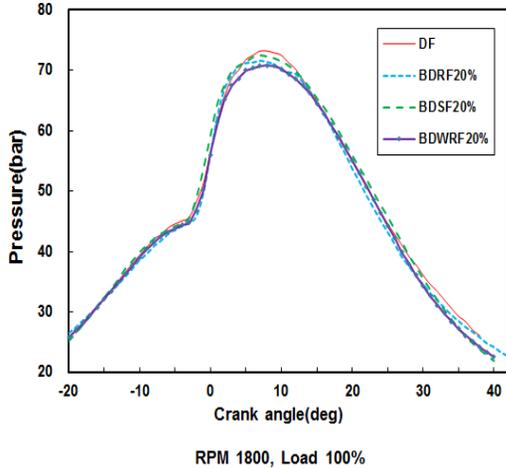


Fig. 3 Cylinder pressure on various biodiesel blend fuel 20% at 1,800rpm

3.2 압력상승율

Figs. 4, 5는 압력상승율 그래프이며, 바이오연료 비율이 증가함에 따라 약간 감소하는 경향이 나타내었다. 경유에 비해서 바이오연료 10%일 때

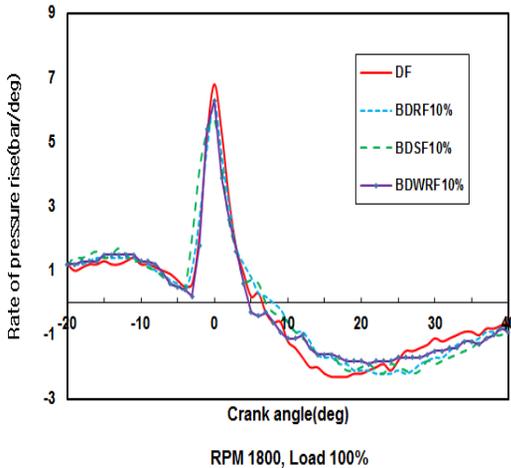


Fig. 4 Rate of pressure rise on various biodiesel blend fuel 10% at 1,800rpm

부하 100%는 BDRF - 8.82% 감소, BDSF - 1.47% 감소, BDWRF - 7.35 감소하였으며, 바이오연료 20%에서는 BDRF - 10.29% 감소, BDSF - 14.7% 감소, BDWRF - 11.75% 감소하였다. 바이오연료 10%의 평균 감소율은 - 5.88이고, 20%의 평균 감소율은 - 12.25%로 감소하였다.

그 이유는 바이오연료에 발열량이 적어서 압력 상승율이 감소하였으며, 또한 바이오연료 비율이 증가하였을 때 약간의 착화시점이 앞당겨짐을 볼 수 있었다. 이것은 연료에 세탄가와 산소함량이 바이오연료 첨가비율이 많은 부분에서 착화점이 약간 빠르게 나타난 것으로 생각된다^{9,10)}.

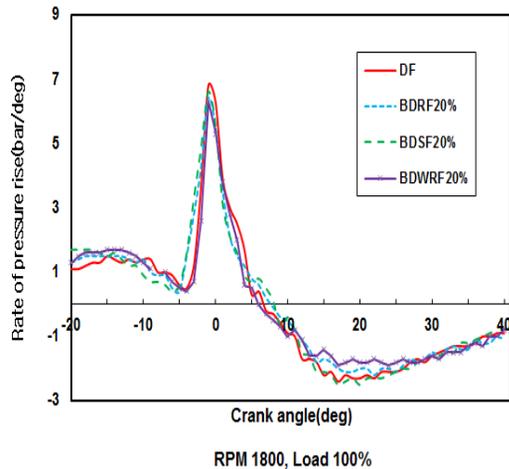


Fig. 5 Rate of pressure rise on various biodiesel blend fuel 20% at 1,800rpm

3.3 열발생율

Figs. 6, 7은 열발생율 그래프이며, 바이오연료 비율이 증가함에 따라 약간 감소하였다. 경유에 비해서 바이오연료 10%일 때 부하 100%는 BDRF - 3.77% 감소, BDSF - 6.68% 감소, BDWRF - 7.23 감소하였으며, 바이오연료 20%에서는 BDRF - 7.23% 감소, BDSF - 9.56% 감소, BDWRF - 10.11% 감소하였다. 바이오연료 10%의 평균 감소율은 - 5.89이고, 20%의 평균 감소율은 - 8.96%로 감소하였다.

그 이유는 경유에 비하여 바이오연료의 발열량

이 작으므로 연소실의 온도는 약간씩 감소하여 압력저하가 나타났으며, 실린더 압력저하가 열발생율을 감소시킨 것으로 생각된다. 하지만 바이오연료 첨가로 산소량이 연소효율을 증가시켜서 전체적으로 약간 감소된 것으로 생각된다¹¹⁾.

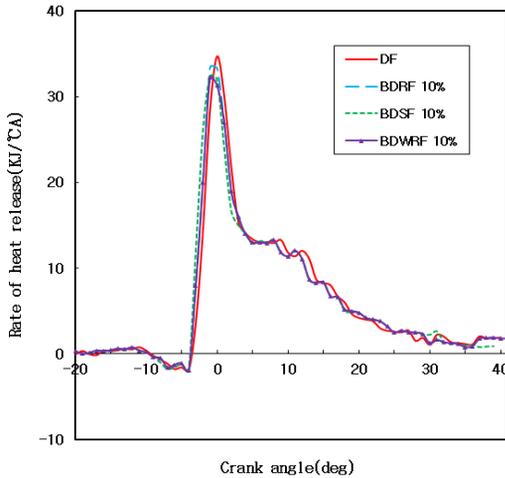


Fig. 6 Rate of heat release on various biodiesel blend fuel 10% at 1,800rpm and load 100%

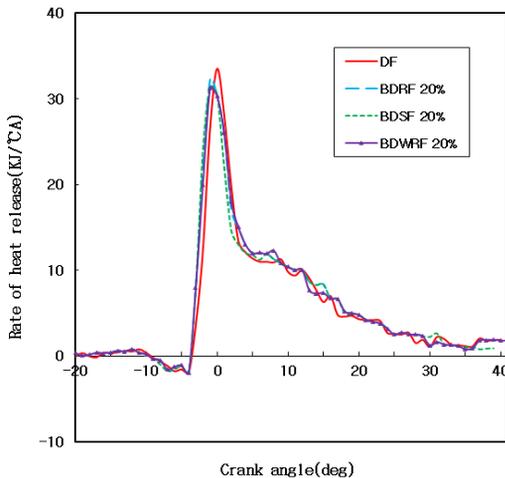


Fig. 7 Rate of heat release on various biodiesel blend fuel 20% at 1800rpm and load 100%

3.4 매연

Figs. 8, 9는 매연배출물 그래프이며, 바이오연

료 비율이 증가함에 따라 감소하였다. 경유에 비해서 바이오연료 10%일 때 부하 100%는 BDRF - 20.31% 감소, BDSF - 18.13% 감소, BDWRF - 19.69% 감소하였으며, 바이오연료 20%에서는 BDRF - 29.69% 감소, BDSF - 27.50% 감소, BDWRF - 29.69% 감소하였다. 바이오연료 10%의 평균 감소율은 - 5.88 이고, 20%의 평균 감소율은 - 12.25%로 감소하였다. 매연배출물은 불완전한 연소로 배출되는데, 바이오연료 첨가 비율이 증가하므로 인하여 탄소량이 감소하고, 산소함량이 증가하여 연료입자가 산소와 접촉면이 활성화되어 양호한 연소가 형성되었기 때문으로 생각된다¹²⁾.

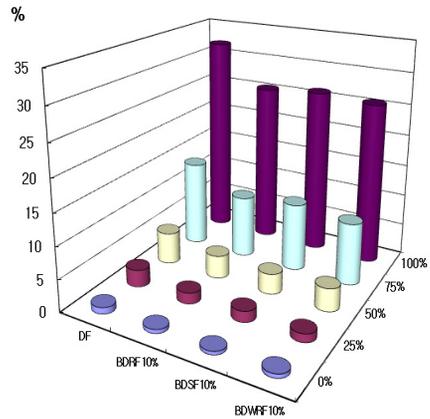


Fig. 8 Soot emission characteristics on various biodiesel blend fuel 10% at 1,800rpm

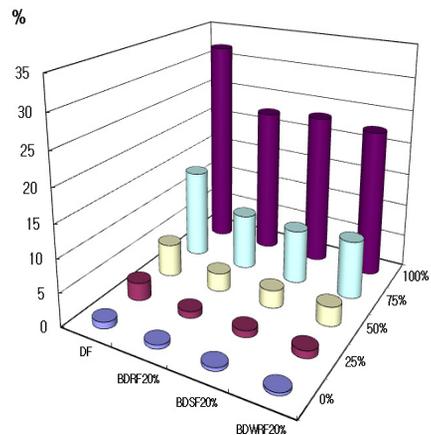


Fig. 9 Soot emission characteristics on various biodiesel blend fuel 20% at 1,800rpm

또한 바이오연료에 세탄가가 경유에 비하여 높기 때문에 착화시점이 빠르게 형성되어 연소기간이 길어진 이유로 생각된다. 본 실험의 결과도 바이오연료 10% 첨가했을 경우보다 감소율이 바이오연료 20%에서 많이 감소하였다.

3.5 연료소비율

Figs. 10, 11은 기관회전수 1,800rpm에서 부하의 변화에 따른 바이오연료 연료소비율을 나타낸 그래프이다.

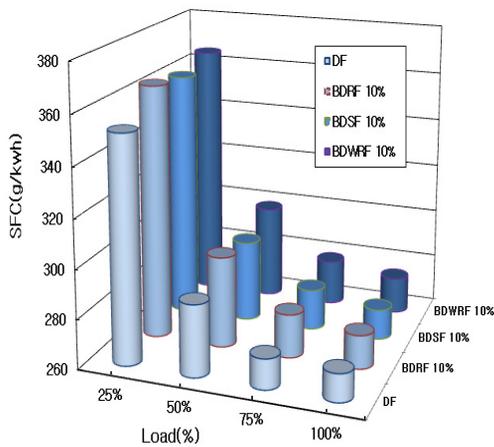


Fig. 10 Brake specific fuel consumption on various biodiesel blend fuel 10% at 1,800rpm

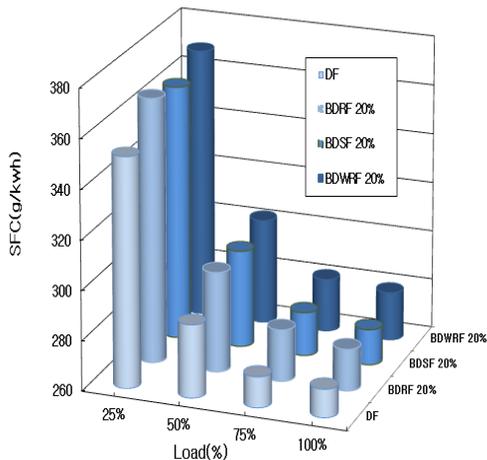


Fig. 11 Brake specific fuel consumption on various biodiesel blend fuel 20% at 1,800rpm

연료소비율은 부하가 증가함에 따라 점점 감소하는 경향이고, 바이오연료 첨가비율이 증가함에 따라서 약간씩 증가했으며, 경유에 비해서 바이오연료 10%일 때 부하 100%는 BDRF 0.86% 증가, BDSF 0.36% 증가, BDWRF 1.23% 증가하였으며, 바이오연료 20%에서는 BDRF 1.96% 증가, BDSF 1.10% 증가, BDWRF 2.98% 증가하였다. 바이오연료 10%의 평균 증가율은 0.82%이고, 20%의 평균 증가율은 2.01%로 증가하였다. 그 이유는 경유에 비해서 발열량이 14% 정도 바이오연료가 작음으로 연료소비량이 증가하였고, 바이오연료가 가지고 있는 탄소량 따라 일치하게 증가하였다. 그리고 연료소비량이 크게 증가하지 않은 이유는 바이오연료에 산소량 9.7%가 연소에 활성화되어서 완전연소에 기인하였다고 생각된다¹³⁾.

5. 결 론

선박디젤기관에 적용하여 그 가능성과 경제성을 연구한 결과 그 가능성이 입증되었고, 바이오디젤연료의 연소특성에 대한 연구를 종합적으로 분석·고찰한 결과는 다음과 같다.

실린더압력은 경유에 비해서 바이오연료 10%의 평균 감소율은 -1.64이고, 20%의 평균 감소율은 -3.64%로 감소하였다. 경유에 비하여 바이오연료의 발열량이 14% 정도 적어서 연소실 압력이 감소하였다.

압력상승율은 경유에 비해서 바이오연료 10%의 평균 감소율은 -5.88이고, 20%의 평균 감소율은 -12.25%로 감소하였다. 바이오연료 비율이 증가하였을 때 약간의 착화시점이 앞당겨짐을 볼 수 있었다. 이것은 연료에 세탄가와 산소함량이 바이오연료 첨가비율이 많은 부분에서 착화점이 약간 빠르게 나타난 것이다.

열발생율은 경유에 비해서 바이오연료 10%의 평균 감소율은 -5.89이고, 20%의 평균 감소율은 -8.96%로 감소하였다.

매연배출물은 바이오연료 10%의 평균 감소율은 -5.88이고, 20%의 평균 감소율은 -12.25%로 감소하였다. 바이오연료에는 세탄가가 경유에 비

하여 높기 때문에 착화시점이 빠르게 형성되어 연소기간이 길어짐을 알 수 있었고, 실험의 결과도 바이오연료 10% 첨가했을 경우보다 감소율이 바이오연료 20%에서 많이 감소하였다.

연료소비율은 부하가 증가함에 따라 점점 감소하였으며, 바이오연료 첨가비율이 증가함에 따라서 약간씩 증가하였다.

References

1. R. L. McCormick, A. Williams, J. Ireland, M. Brimhall and R. R. Hayes, 2006, "Effects of Biodiesel Blends on Vehicle Emissions", A national laboratory of the U.S. Department of Energy Office of Energy Efficiency & Renewable Energy(NREL/MP)-540-40554.
2. J. K. Lim, S. Y. Choi, S. J. Kim and S. G. Cho, 2008, "Effects of Biodiesel Fuel on Characteristics of Specific Fuel Consumption and Exhaust Emissions in DI Diesel Engine", Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 14, No. 1, pp. 83-87.
3. S. H. Jang, 2013, "The Characteristics on the Engine Performance for Variation of Fuel Injection Timing in DI Diesel Engine Using Biodiesel(II)", Journal of the Korea Society for Power System Engineering, Vol. 17, No. 6, pp. 25-32.
4. V. Pradeep and R. P. Sharma, 2007, " Use of HOT EGR for NOx Control in a Compression Ignition Engine Fuelled with Bio-Diesel from Jatropha Oil ", Renewable Energy, Vol. 32, pp. 1136-1154.
5. J. K. Yeom, 2011, "Basic Experimental Study on the Application of Biofuel to a Diesel Engine", The Korean Society of Mechanical Engineers, Vol. 35. No. 11, pp. 1163-1168.
6. O. T. Oh, K. J. Cheong and T. Murayama, 1988, "A Study on Alternative Fuel as Fuel Substitutes in Diesel Engine(II)", Journal of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 10, No. 6, pp. 48-53.
7. S. Ahn, W. I. Kim and C. S. Lee, 2013, "A Study on Spray Characteristics of Biodiesel Derived from Waste Cooking Oil", Journal of Ilass-Korea, Vol. 18, No. 4, pp. 182-187.
8. 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, Vol. 38, No. 9, pp. 1081-1086.
9. S. H. Jung, M. S. Kim, S. H. Jang, D. K. Koh and S. K. Ahn, 2004, "Analysis of Combustion Characteristics of Bio Diesel Fuel in a DI Diesel Engine Using PXI and LabVIEW", Journal of the Korea Society for Power System Engineering, Vol. 8, No. 2, pp. 12-17.
10. K. H. Park, J. Y. Kim, C. J. Kim, J. H. Ko and H. I. Park, 2012, "The Effect of Bio-diesel Fuel on Industrial Diesel Engine", Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 36, No. 1, pp. 72-77.
11. 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", The Korean Society of Combustion, Vol. 16, No. 4, pp. 1-7.
12. J. R. Needham, M. P. May, D. M. Doyle, S. A. Faulkner and H. Ishiwata, 1990, "Injection Timing and Rate Control a Solution for Low Emissions", SAE 900854, pp. 8-10.
13. J. K. Lim, S. Y. Choi and S. G. Cho, 2008, "Effects of Biodiesel Fuel on Exhaust Emission Characteristics in Diesel Engine", Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 33, No. 1, pp. 27-32.