

선박디젤기관에서 바이오디젤 폐혼합유의 배기배출물특성에 대한 연구

A Study on the Characteristics of Exhaust Emissions by Biodiesel Blend Waste Oil in Marine Diesel Engine

조상곤*†

Sang-Gon Cho*†

(Received 24 February 2015, Revision received 06 April 2015, Accepted 06 April 2015)

Abstract: Recently worldwide concern and research is being actively conducted on green energy which can reduce environmental pollution. A plant such as the natural rapeseed oil, soybean oil, palm, etc. is used as a bio source in home and industry. Biofuels is a sustainable fuel having economically benefits and decreasing environmental pollution problems caused due to fossil fuel, and it can be applied to the conventional diesel engine without changing the existing institutional structure. Waste vegetable oil contains a high cetane number and viscosity component, the low carbon and oxygen content. A lot of research is progressing about the conversion of waste vegetable oil as renewable clean energy. In this study, waste oil was prepared to waste cooking oil generated from the living environment, and applied to diesel engine to confirm the possibility and cost-effectiveness of biodiesel blend waste oil. As a result, brake specific fuel consumption and NOx was increased, carbon monoxide and soot was decreased.

Key Words : Biodiesel blend waste oil(BDWO), Brake specific fuel consumption, NOx, CO, Soot

1. 서 론

최근 전 세계적으로 환경오염을 저감 할 수 있는 녹색에너지에 많은 관심과 연구가 활발히 진행되고 있는데, 자연에서 재배하여 기름으로 만들어지는 식물유는 다양하며, 동물의 기름에서도 생산하여 가정 및 산업계에서 많이 사용되고 있다. 이러한 기름을 조리 및 가공 후에 버려지는 폐식용유를 다시 재활용하면 친환경에너지 및 재생에너지 등 경제적인 이익과 환경오염 문제도 해결

할 수 있는 장점이 있다. 현재 디젤기관으로부터 배출되는 여러 가지 대기오염물질이 환경오염의 원인이 되므로 대기오염원을 줄이기 위하여 전 세계적으로 다양한 기술이 연구되고 있으며 유해 배출가스를 규제하기 위한 규정도 점차 강화되고 있다. 이에 따라 바이오연료는 자연에서 재배하는 유채유¹⁾, 대두유²⁾, 팜³⁾ 등이 있는데, 재생 가능한 자원으로 환경적으로 유익하며, 화석연료보다 대기오염이 적은 장점이 있어서 바이오연료의 개발이 활발히 연구되어지고 있다. 또한 바이오연료는

*† 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

디젤기관을 변형하지 않고 사용할 수 있다는 연구보고가 있고⁴⁾, 연료의 성분도 물성치가 비슷하여 독성이 없고 세탄가 높은 장점을 가지고 있을 뿐만 아니라 연료에 산소⁵⁾를 포함하고 있어 배출 가스 저감 할 수 있다고 알려져 있다. 이런 바이오연료를 경제적 이익과 환경적인 오염을 감소할 수 있는 폐식용유⁶⁾를 회수하여 직접 정제과정을 거쳐 바이오연료를 생산하여 그 가능성을 연구하고자 한다. 이런 친 환경 재생바이오연료를 어선에서 사용되었던 기관에 직접 적용하여 지속가능성을 연구하고 또한 바이오연료의 특성인 연료의 고점도, 고세탄가, 연료의 산소함유량 및 발열량에 미치는 영향에 따라 배기배출물 특성에 미치는 영향을 연구하였다.

2. 폐식용유 원료 수거 및 제조 과정

2.1 폐식용유 수거 과정

최근 학교 식당이나 음식점 등에서 많이 배출하는 업소를 선정하여 그 중에 자주 많이 폐식용유를 배출하는 통닭집을 선정하여 회수를 하였다. 요즘 유명한 프랜차이즈 업소에서 사용하는 식용유의 종류도 다양하여 그 중 대두유와 유채유를 사용하는 것을 선정하여 각각 10통(180리터) 수집하였다.

2.2 바이오연료의 제조

1차 여과망에 응고된 부유물을 정제하였고, 2차로 부직포 필터에 통과시켜서 잔존하는 이물질 제거하였다.

이런 폐식용유는 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.

Table 1 Properties of test fuels

Item	Test fuels	
	Diesel fuel	BDW0100
Flash point(℃)	75	128
Kinetic viscosity (cSt@40℃)	2.517	3.754
Sulfur(%)	0.04	0
Specific gravity(15℃)	0.8269	0.8752
Cetane index	51.4	57.5
Calorific value(MJ/kg)	42.8	34.96
Oxygen(wt.%)	0	9.6

3. 실험

3.1 실험장치

본 실험기관은 선박용 디젤기관으로 주요 제원은 Table 2와 같이 나타내었고, 실험장치는 Fig. 1과 같이 구성하였다.

기관의 출력은 와류형 전기동력계를 사용하여 측정하였고, 연소실의 압력측정은 첫 번째 실린더에 압전식(Piezo-electric type) 압력변환기를 설치하였다. 그리고 연소온도는 각 실린더의 연소실내에 열전대(R-type)를 설치하여 측정하였으며, 연료 소비율은 용적식 유량계 및 고정도 연료소비량계(FM-257)를 사용하였다. 연료온도를 일정하게 유지하기 위하여 연료온도 조절기를(FTCH-0906) 사용하였으며, 흡입공기량의 계측은 오리피스식 공기유량계와 유량계(50MC-4F)를 사용하였다. 그리고 기관의 흡기측에 서지탱크(Surge tank)를 설치하여 흡기의 흐름이 균일하도록 하였다. 또한 배기배출물은 분석기(Signal emirak rag 4873)와 Test 350, 매연은 보쉬(Bosch)형과 광투과식(Mexa-130S)를 사용하였다.

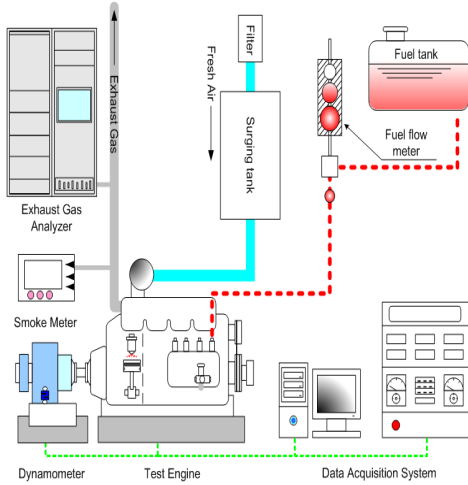


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

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)	5393
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

3.2 실험방법

본 연구에서는 기관회전속도 1800rpm의 경우에 대하여 기관부하를 0%에서 100%까지 25% 간격으로 연료온도를 15℃로 일정하게 유지하면서 바이오연료 혼합비를 체적으로 0%~50%까지 10% 간격으로 변화시키면서 실험하였다.

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

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 계측하였다.

배기가스 분석기와 매연측정기를 “0” 점 조정하고, 표준가스(측정범위 80%인 보정용 가스)농도와 일치하도록 보정실험을 한 후에 각종 배기배출물을 측정하였으며, 동력계는 표준중량(5kg)추를 사용하여 압축인장의 보정실험을 하여 정확한 토오크 값을 확인한 후 동력을 측정하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 연료소비율

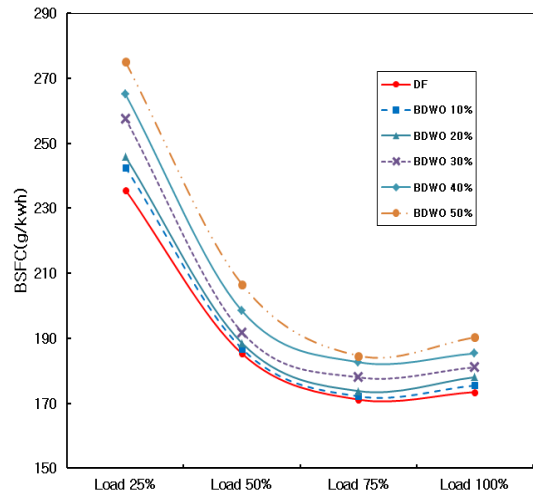


Fig. 2 Brake specific fuel consumption on various biodiesel blend waste oil at 1800rpm

Fig. 2는 기관회전수 1,800rpm에서 부하의 변화에 따른 바이오연료 연료소비율을 나타낸 그래프이다.

연료소비율은 부하가 증가함에 따라 점점 증가하는 경향이고, 바이오연료 첨가율이 증감함에 따라서 약간씩 증가했으며, 디젤경유에 비해서 바이오연료 BDWO 10% 일 때 저부하에서 2.95%, 고부하에서 1.15%, BDWO 20% 일 때 저부하에서 4.36%, 고부하에서 2.62%, BDWO 30% 일 때 저

부하에서 9.31%, 고부하에서 4.38%, BDWO 40% 일 때 저부하에서 12.48%, 고부하에서 6.84%, BDWO 50% 일 때 저부하에서 16.73%, 고부하에서 9.67%로 각각 증가하였다. 그 이유는 디젤경유에 비해서 발열량이 14% 정도 바이오연료가 작음으로 연료소비량이 증가하였고, 바이오연료가 가지고 있는 탄소량 따라 일치하게 증가하였다. 그리고 연료소비량이 크게 증가하지 않은 이유는 바이오연료에 산소량 9.6%가 연소에 활성화되어서 완전연소에 기인하였다고 생각된다⁷⁾.

4.2 질소산화물(NOx)

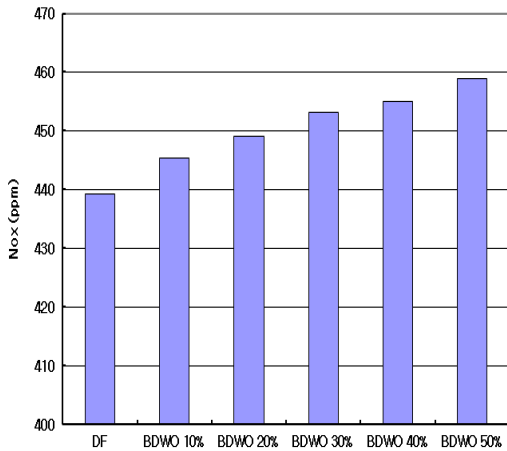


Fig. 3 NOx emission characteristics on various biodiesel blend waste oil at 1800rpm and load 100%

Fig. 3은 질소산화물 배출물을 나타내는 그래프이며, 바이오연료 체적비율이 증가할수록 증가하는 경향이다. 디젤경유에 비해서 바이오연료 고부하의 경우는 BDWO 10%에서 1.36%, BDWO 20%는 2.23%, BDWO 30%는 3.16%, BDWO 40%는 3.57%, BDWO 50%에서 4.43%로 각각 증가하였다.

그 이유는 바이오연료의 성분인 산소함량이 9.6% 함유하고 있어서 연소상태가 양호하게 촉진되었고, 그러므로 연소과정에서 산소와 고온반응하여 연소온도가 크게 증가하였다. 그래서 저부하시보다 고부하시에는 연소의 온도가 상승하므로

인하여 고부하영역에서 질소산화물은 많이 발생하였다. 그것은 실린더내의 부하에 따라 압력이 상승하고, 열발생율이 증가하므로 고온반응의 조건이 이루어져 고부하영역에서 고온이 형성되기 때문으로 사료된다⁸⁻⁹⁾.

4.3 이산화탄소(CO₂)

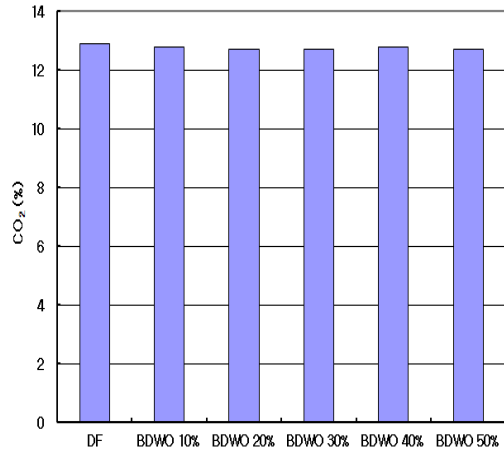


Fig. 4 CO₂ emission characteristics on various biodiesel blend waste oil at 1800rpm and load 100%

Fig. 4는 이산화탄소 배출물 그래프이며, 바이오연료 비율이 증가함에 따라 약간 감소하거나, 비슷한 경향인데 오차범위 내에서 비슷하게 나타내었다. 이산화탄소는 탄소함량에 따라 배출되는 영향이 크게 미치는데 이것은 바이오연료의 첨가로 인한 탄소량이 약간 감소되었으나 산소량이 증가하므로 양호한 연소가 형성되어 완전 연소에 많은 영향을 미치지 때문으로 생각된다.

4.4 일산화탄소(CO)

Fig. 5는 일산화탄소 배출물 그래프이며, 바이오연료 비율이 증가함에 따라 약간 감소하였다. 디젤경유에 비해서 바이오연료 고부하의 경우는 BDWO 10%에서 -1.32%, BDWO 20%는 -1.76%, BDWO 30%는 -2.17%, BDWO 40%는 -2.71%, BDWO 50%에서 -3.08%로 각각 감소하였다.

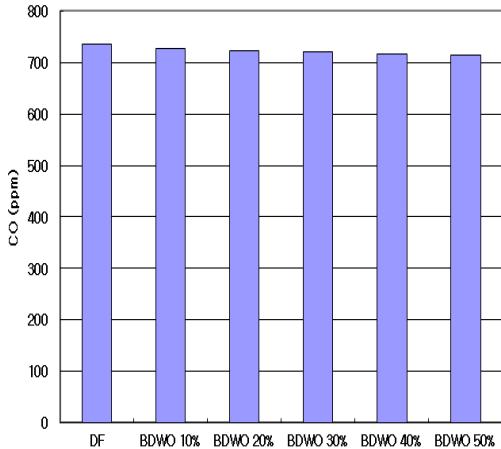


Fig. 5 CO emission characteristics on various biodiesel blend waste oil at 1800rpm and load 100%

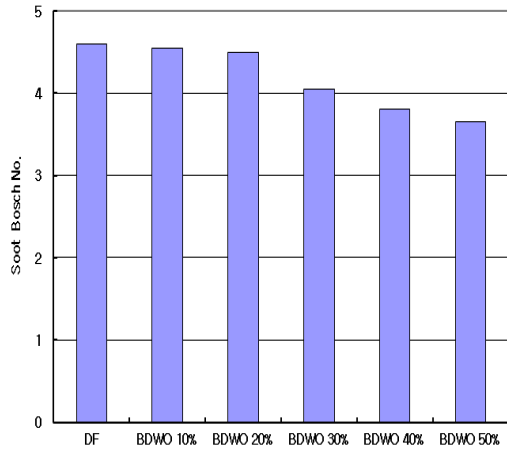


Fig. 6 Soot emission characteristics on various biodiesel blend waste oil at 1800rpm and load 100%

일반적으로 일산화탄소 배출물은 저부하시 연소 불안으로 증가하다가 부하 75%에서 최소로 배출하며, 다시 고부하영역에서 연소 불안정으로 크게 증가한다. 그 이유는 저 부하에서 CO 농도가 낮은 온도에서 발생되며 고부하영역에서는 연료의 농도가 많아져 불완전 연소로 배출되기 때문이다. 하지만 바이오연료 첨가로 감소하는 원인은 바이오연료에 포함된 산소함유량에 의해 완전연소에 기인하여 연소상태를 양호하게 촉진하기 때문으로 생각된다¹⁰⁻¹¹⁾.

4.5 매연

Fig. 6은 매연배출물 그래프이며, 바이오연료 비율이 증가함에 따라 감소하였다. 디젤경유에 비해서 바이오연료 고부하의 경우는 BDWO 10%에서 -1.08%, BDWO 20%는 -2.17%, BDWO 30%는 -11.96%, BDWO 40%는 -17.39%, BDWO 50%에서 -20.65%로 각각 감소하였다. 매연배출물은 불완전한 연소로 배출되는 원인인데 바이오연료 첨가로 인하여 탄소량이 감소하고, 산소함량이 증가하여 연료입자가 산소와 접촉면이 활성화되어 양호한 연소가 형성되었기 때문으로 생각된다¹²⁾. 본 실험의 결과도 바이오연료 10% 첨가했을 경우보다 감소율이 바이오연료 50%에서 많이 증가하였다.

5. 결 론

최근 화석연료의 배기배출물은 대기오염을 악화시키고 지구환경변화를 유발하고 있다. 이에 재가 가능한 바이오원료를 시중에서 사용 후 버려지는 에너지를 회수하여서 친환경 바이오원료로 재생하여 자원의 재활용성을 확인하고, 또한 선박디젤기관에 적용하여 친환경 선박 가능성을 확인하였다. 바이오디젤 폐혼합유의 배기배출물에 대한 연구를 종합적으로 분석·고찰한 결과는 다음과 같다.

연료소비율은 바이오연료를 첨가하였을 경우에 증가하였으며, BDWO 10%일 때 저부하에서 2.95%, 고부하에서 1.15%, BDWO 20%일 때 저부하에서 4.36%, 고부하에서 2.62%, BDWO 30%일 때 저부하에서 9.31%, 고부하에서 4.38%, BDWO 40%일 때 저부하에서 12.48%, 고부하에서 6.84%, 바이오연료 BDWO 50%일 때 저부하에서 16.73%, 고부하에서 9.67%로 각각 증가하였다.

질소산화물은 디젤경유에 비해서 바이오연료를 첨가하였을 경우에 증가하는 경향을 보였으며, 고부하의 경우는 BDWO 10%에서 1.36%, BDWO 20%는 2.23%, BDWO 30%는 3.16%, BDWO 40%는 3.57%, BDWO 50%에서 4.43%로 각각 증가

였다.

일산화탄소는 디젤경유에 비해서 바이오연료를 첨가하였을 경우에 감소하는 경향을 보였으며, 고부하의 경우는 BDWO 10%에서 -1.32%, BDWO 20%는 -1.76%, BDWO 30%는 -2.17%, BDWO 40%는 -2.71%, BDWO 50%에서 -3.08%로 각각 감소하였다.

매연배출물은 디젤경유에 비해서 바이오연료를 첨가하였을 경우 비율에 따라서 많이 감소하는 경향을 보였으며, 고부하의 경우는 BDWO 10%에서 -1.08%, BDWO 20%는 -2.17%, BDWO 30%는 -11.96%, BDWO 40%는 -17.39%, BDWO 50%에서 -20.65%로 각각 감소하였다.

References

1. J. K. Lim 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.
2. K. W. Schol and S. C. Sorenson, 1993, "Combustion of Soybean Oil Methyl Ester in a Direct Injection Diesel Engine", SAE, 930934.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. K. Y. Ryu and Y. T. Oh, 2007, "Combustion Characteristics and Durability of Diesel Engines Burning BDF 20", Transactions of KSAE, Vol. 15, No. 3, pp. 18-28.
8. O. T. Oh, 1998, "A Study on Usability of Used Vegetable Oil as a Diesel Substitute in Diesel Engine", Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 22, No. 4, pp. 481-488.
9. 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.
10. S. L. Plee, T. J. Ahamed and P. Myers, 1981, "Flame temperature correlation for the effects of EGR on diesel particulate and NOx Emissions", Journal of Society of Automotive Engineers, 811195.
11. 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.
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.