

선박디젤기관에 있어서 바이오연료가 배기배출물특성에 미치는 영향

조상곤*†

* 군산대학교

Effects of the Characteristics of Exhaust Emissions by Using Bio Fuel
in Marine Diesel Engine

Sang-Gon Cho*†

* Kunsan National University, Gunsan 573-701, Korea

요약 : 최근 지구 온난화는 세계 경제발전으로 화석연료 사용이 주범으로 인식하고 있다. 이러한 화석연료를 감소하기 위한 연구는 여러 대체에너지 산업으로 발전하고 있으며, 그 중 우리나라에서 생산할 수 있는 연료는 바이오연료이다. 바이오연료는 화석연료에 의해서 발생하는 환경오염 문제를 줄이면서 경제적인 이익을 주는 지속 가능한 연료이다. 그래서 바이오연료를 친환경에너지로 전환시키는 재생에너지 등에 많은 연구가 진행되고 있다. 따라서 본 실험은 어선에서 사용했던 기관을 다시 리모델링하여 실험장치를 직접 제작 설치하였고, 여러 바이오연료를 사용하여 선박의 경제적이고 친환경적인 운항에 도움을 주고자 연구하였다. 유채유, 대두유, 폐유채유의 배기배출물특성에 미치는 영향을 종합적으로 분석한 결과는 연료의 물리적, 화학적 성분이 비슷하여 선박용 엔진에 사용이 가능하고, 연료소비율과 NOx는 약간 증가하였으나, 매연은 많이 감소하는 경향이 확인되었다.

핵심용어 : 선박용 디젤기관, 디젤연료, 바이오연료(유채유, 대두유, 폐유채유 10%, 20%), 연료소비율, 배기배출물특성, 질소산화물, 일산화탄소, 매연

Abstract : Recent global warming has been recognized as the world economy development from fossil fuel use is the culprit. This study was reduce the fossil fuel has been developed in a number of alternative energy, As a fuel that can be produced in our country is a biofuel. Biofuels is a sustainable fuel having economically benefits and decreasing environmental pollution problems caused due to fossil fuel. A lot of research is progressing about the conversion of diesel biofuel as renewable clean energy. In this experiment were remodel the institution that has been used in fishing engine again produced an experimental apparatus were installed directly, were studied using various bio fuel like to help the economically and environmentally sound operation of the vessel. rapeseed oil, soybean oil, comprehensively analyzing the results the effects of the exhaust emission characteristics of the waste rapeseed oil is available in a marine engine with similar physical and chemical components of the fuel, and the fuel consumption ratio, NOx is slightly increased, but soot was confirmed a tendency to decrease much.

Key Words : Marine diesel engine, Diesel fuel, Biodiesel fuel(BDSF, BDSF, BDWSF 10%, 20%), Specific fuel oil consumption, Exhaust emissions characteristics, NOx, CO, Soot

1. 서론

최근 산유국들의 정치적, 경제적 불안으로 원유가격이 상승과 하락이 반복되고 있고, 전 세계적으로 경제발전을 이룩한 선진국을 경제모델로 후진국가에서도 최우선적으로 발전 계획을 추진하고 있다. 이로 인한 화석연료의 사용이 점점

계속 증가하고 있어 지구 온난화가 빠르게 진행되며, 이로 인한 기상변화가 자주 발생하여 자연재해 등 큰 예기치 못한 사건사고가 발생하고 있다. 이러한 지구 온난화의 주범인 대기오염 물질의 생산이 주로 기관에서 배출되는 유해성분 물질인데, 육상기관의 유해배기가스 규제(Jung et al., 2004; Ryu and Oh, 2004) 뿐만 아니라, 선박기관에 대해서도 이미 국제해사기구(IMO)에서 합의하여 규제하고 있다. 하지만 디젤기관은 열효율이 높고, 대출력의 기관을 만드는 것이 용이

† haerimho@kunsan.ac.kr, 063-469-1727

조상곤

하며, 내구성과 신뢰성이 좋다. 그래서 화석에너지를 대체할 수 있는 에너지 개발이 시급한데, 그 하나 대안으로 자연에서 생산하는 식물유의 콩(Schol and Sorenson, 1993), 유채(Lim and Cho, 2008), 현미, 팥(Pradeep and Sharma, 2007) 등이 있다. 이런 재생 에너지는 지구온난화 억제를 위해서도 바람직한 연료임이 입증되었으며(Ryu and Oh, 2007), 또한 여러 대기오염물질을 저감시킬 수 있는 결과가 있었고(Kanne and Iwamoto, 1988; Lim and Cho, 2012) 계속 노력할 필요가 있다.

유채유 사용 후 부산물을 재활용하는 폐유채유는(Jung et al., 2004; Oh, 1998) 점도가 다소 높고 여러 이물질만 제거하면 사용 가능성을 보였고, 보통 음식점 튀김과 제과류에서 많이 배출하는데 자원재활용 차원에 많이 연구되고 있다. 바이오연료는 생산과 사용하는 단점이 있는데, 연료의 이용과정, 연료계통의 보온, 연료의 저장유지 등이 사용에 어려움이 있어서 이러한 분야는 더욱더 연구가 되리라 생각된다. 바이오연료 디젤기관의 연소특성과 배기배출물특성에 영향을 주는 주요 인자는 연료의 성분, 분사시기, 분사율, 연료분무의 무화성 및 관통성 등등 여러 가지가 있는데, 이들은 서로 미치는 영향이 유기적이다(Satoh et al., 1997). 또, 선박디젤기관은 사용 따라서 관련된 부속품의 내구성능(Oh et al., 1988) 등도 연구해야한다고 생각된다.

따라서 본 연구에서는 여러 바이오연료의 배기배출물특성에 미치는 영향을 실험적으로 연구하고자 하며, 어선기관을 리모델링한 후 실험하여 선박기관에 경제적인 운전에도움을 주고자 한다.

2. 바이오연료 제조 과정

2.1 바이오연료의 제조

바이오연료 제조과정은 축매를 사용하는 방법으로 하여 제조하였다. 축매를 사용하는 공정의 장점은 상온 및 대기압과 유사한 조건에서 제품을 생산할 수 있는 장점을 갖고 있다. 그러나 축매를 사용하지 않는 공정은 생산 및 제품의 정제공정이 비교적 단순하며 일반적으로 축매를 사용하는 공정에 비해 메탄올 사용량이 많아서 고온고압의 조건이 필요하나 제품의 정제과정이 필요 없는 장점을 가지고 있다.

본 실험에서 바이오연료 제조는 축매를 사용하는 공정을 이용했으며 60리터의 반응조에 바이오원료 36리터와 메탄올 7.2리터, 가성소다 324g을 섞은 후 교반통에 넣은 후 약 65°C에서 24시간 동안 교반하여 제조하였다.

반응 후 24시간정도 상온에 방치하여 글리세린 층을 바이오연료 층과 분리하기 위하여, 바이오연료 층인 상부 층을 따라내었다. 또 이를 증류장치에서 가열하여 약 150°C 이전까

지는 미반응 메탄올이 제거되었고 바이오연료는 340~420°C 구간에서 증류되었다. 폐식용유는 한번 더 반응조에 증류하였고, 증류된 바이오연료는 더 이상의 중화과정 없이 바로 사용하였으며 경유와 비교한 그의 물성치는 Table 1과 같다.

Table 1. Properties of test fuels

Item	Test fuels			
	Diesel fuel	BDRF100 biodiesel rape fuel	BDSF100 biodiesel soy fuel	BWDRF100 biodiesel waste rape fuel
Flash point(°C)	75°C	126°C	134°C	128°C
Specific gravity(15/4°C)	0.8342	0.8605	0.8809	0.8752
Kinematic viscosity (cSt@40°C)	2.67	3.582	4.382	3.754
Sulfur(%)	0.04	0	0	0
Water(%)	0	0.1401	0.134	0.117
Lower heating value(MJ/kg)	42.8	36.55	37.59	34.96
Carbon(wt.%)	85.83	77.26	77.54	77.29
Hydrogen (wt.%)	13.82	12.76	12.96	12.68
Nitrogen (wt.%)	0.16	0.08	0.07	0.08
Oxygen(wt.%)	0	9.9	9.7	9.6
Cetane number	51.4	57.3	57.9	57.5

3. 실험

3.1 실험장치

본 실험기관은 선박용 디젤기관으로 주요 제원은 Table 2에 구성하였고, 연료계통에 내유고무와 연료필터를 추가로 설치하였으며 바이오연료 계통 및 실험장치도는 Fig. 1에 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, 연료소비율은 용적식 유량계 및 고정도 연료소비량계(FM-257)를 사용하였다. 연료온도를 일정하게 위하여 연료온도 조절기를(FTCH-0906) 사용하였으며, 흡입공기량의 측정은 오리피스식 공기 유량계와 유량계(50MC-4F)를 사용하였다. 그리고

선박디젤기관에 있어서 바이오연료가 배기배출물특성에 미치는 영향

기관의 흡기측에 서지탱크(Surge tank)를 설치하여 흡기의 흐름이 균일하여 지도록 하였다. 또한 배기배출물은 배기분석기(Signal emirak rag4873)와 Testo 350, 매연은 보쉬(Bosch)형과 광투과식(Mexa-130S)을 사용하였다.

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	60 kW/1,200 rpm
Compression ratio	17.5 : 1
Fuel injection timing	BTDC 22°CA
Firing order	1-5-3-6-2-4

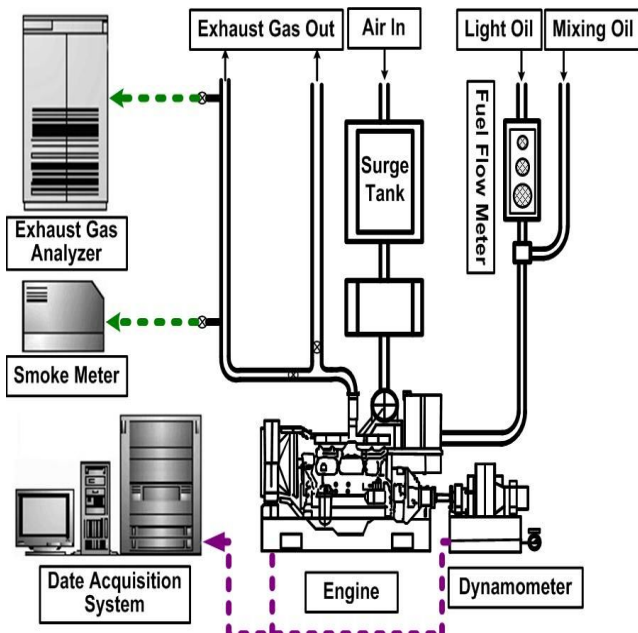


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

3.2 실험방법

본 연구에서는 기관회전속도 1800rpm의 경우에 대하여 기관부하를 0%에서 100%까지 25% 간격으로, 연료온도를 15°C

로 일정하게 유지하면서 바이오연료 혼합비를 체적으로 0%, 10%, 20%로 변화시키면서 실험하였다.

동일한 조건하에서 기관회전수의 변동율은 $\pm 0.5\%$ 이었고 기관부하의 변동율은 $\pm 1.5\%$ 이하 이었다.

실험을 하는 동안 수냉식 열교환기를 사용하여 기관의 냉각수와 윤활유 온도를 일정하게 유지하였고 기관의 작동 및 연소 상태를 파악하기 위하여 지압선도, 연소실 압력상승률 선도, 열발생량 선도 등을 취득하였으며, 각 부위(배기관 입·출구, 냉각수 입·출구, 윤활유, 흡입공기)의 온도를 계속하였다.

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

4. 실험결과 및 고찰

4.1 연료소비율

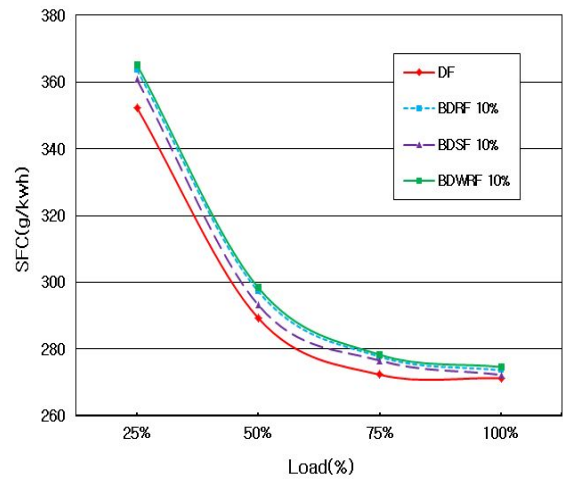


Fig. 2. Comparison of Specific fuel consumption by using Bio fuel 10% at 1800 rpm.

Fig. 2, 3은 기관회전수 1,800 rpm에서 부하의 변화와 바이오연료 변화에 따른 연료소비율을 나타낸 것이다.

연료소비율은 부하가 증가함에 따라 점점 감소하는 경향을 보이고, 바이오연료 증가에 따라서 약간씩 증가했으며, 바이오연료 10%일 때 부하 25%의 경우 BDRF 3.22% 증가, BDSF 2.40% 증가, BDWRF 3.66% 증가하였다. 부하 100%의 경우 BDRF 0.86% 증가, BDSF 10%는 0.36% 증가, BDWRF 10%는 1.23%로 약간 증가하였다. 바이오연료 20%일 때 부하 25%의 경우 BDRF 4.07% 증가, BDSF 2.97% 증가, BDWRF

4.80 % 증가하였다. 부하 100 %의 경우 BDRF 1.96 % 증가, BDSF 1.10 % 증가, BDWRF 2.98 %로 증가하였다. 그 이유는 디젤경유의 발열량에 비해 바이오연료의 첨가로 인하여 발열량이 14 % 정도씩 적으므로 부하변화에 따른 연료소비율의 변화 경향이 대략 일치하였고, 디젤경유에 비하여 바이오연료가 발열량이 적으므로 연소최고압력과 최고열발생량이 감소되어 바이오연료는 연료소비율이 약간씩 증가되었다 (Lim et al., 2009).

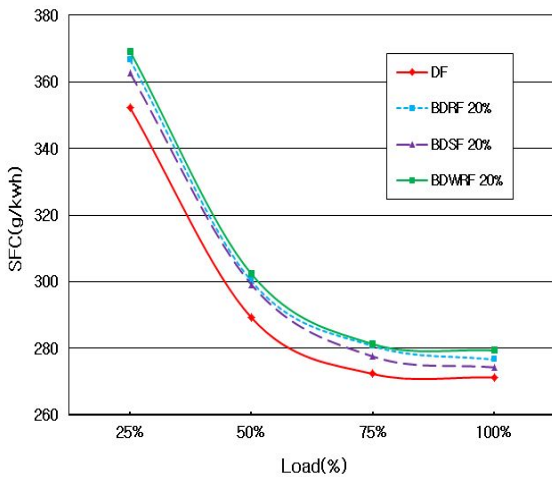


Fig. 3. Comparison of Specific fuel consumption by using Bio fuel 20 % at 1800 rpm.

4.2 일산화탄소(CO)

CO의 배출량은 Fig. 4, 5와 같으며, 부하가 증가하면서 감소하여 75 %에서는 최소 배출량을 보였으나, 부하 100 %에서는 다시 배출량이 증가하였다. 저 부하에서 CO농도가 많이 증가하는데, 산소가 부족하여 분무확산연소로 인하여 혼합이 좋지 않기 때문에 CO가 발생하고, 발생한 CO가 온도가 낮아 완전한 연소를 하지 못한 상태에서 배출되기 때문으로 생각된다(Plee, et al., 1981).

본 실험결과 바이오연료 10 %에서 100 %인 경우 BDRF -6.13 % 감소, BDSF -5.52 % 감소, BDWRF -0.33 %로 감소하였고, 바이오연료 20 %에서 100 %의 경우 BDRF -7.99 % 감소, BDSF -7.74 % 감소, BDWRF -5.90 % 감소하였다. 그리고 최대 감소율은 부하 75 %에서 BDRF의 경우에 -10.31 %로 나타났다.

그 이유는 바이오연료첨가로 탄소함량이 감소되고, 연료에 포함된 산소 함유량은 증가되어서 완전연소가 촉진되어 CO 배출량이 감소되었다고 생각된다.

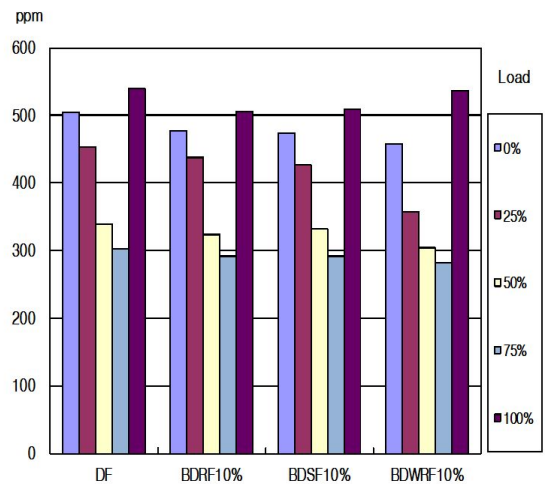


Fig. 4. Comparison of CO by using Bio fuel 10 % at 1800 rpm.

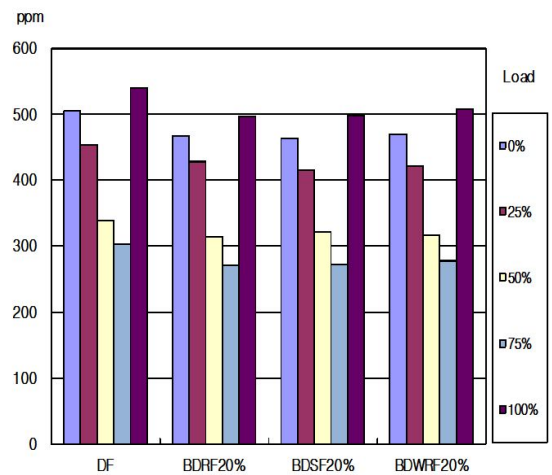


Fig. 5. Comparison of CO by using Bio fuel 20 % at 1800 rpm.

4.3 질소산화물(NOx)

NOx의 배출량은 Fig. 6, 7과 같으며, 부하가 증가할수록 NOx의 배출량이 증가하는 경향으로 나타내었고, 바이오연료를 체적비율로 증가하였을 경우에 부분적인 부하는 약간씩 감소율이 나타내었다. 그리고 바이오연료 10 %에서 최대 부하 100 % 경우 BDRF 0.20 % 증가, BDSF 0.69 % 증가, BDWRF 0.26 %로 증가하였고. 바이오연료 20 %에서 최대 부하 100 % 경우 BDRF 0.94 % 증가, BDSF 0.98 % 증가, BDWRF 1.14 %로 약간씩 증가하였다.

그 이유는 연소시 함산소의 영향으로 연소가 촉진되어 산소분자와 고온반응하여 생성되었고, 연료소비율이 증가하여 연소실 온도가 증가되었기 때문에 질소산화물의 생성량이 많아진 것으로 생각된다(Jeong et al., 2011).

선박디젤기관에 있어서 바이오연료가 배기배출물특성에 미치는 영향

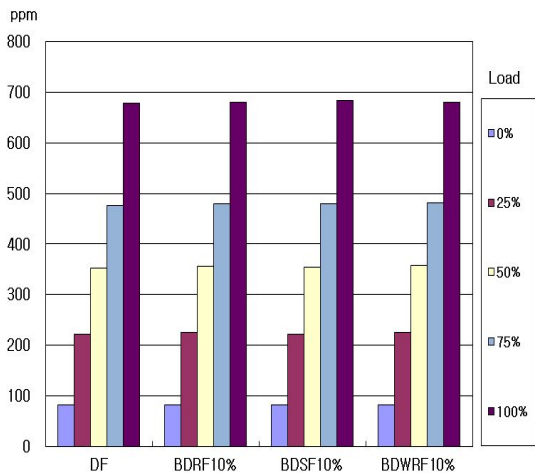


Fig. 6. Comparison of NOx by using Bio fuel 10% at 1800 rpm.

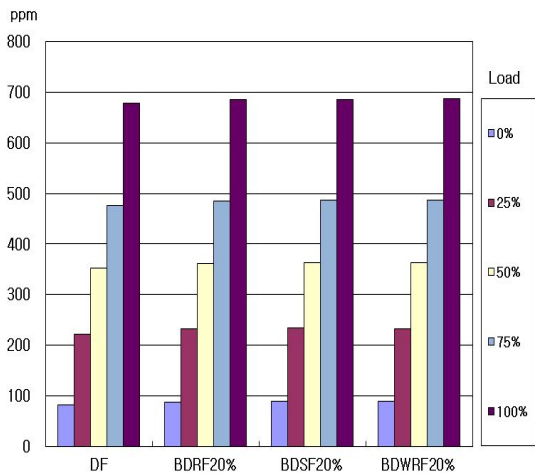


Fig. 7. Comparison of NOx by using Bio fuel 20% at 1800 rpm.

4.4 매연(Soot)

매연의 배출량은 Fig. 8, 9와 같다. 부하가 증가할수록 많이 증가했으며, 바이오연료 첨가로 매연이 감소하는 경향을 나타내었다.

바이오연료 10%에서 부분 부하 경우에는 전체적인 감소율이 보였으며, 최대 부하 100% 경우 BDRF -8.0% 감소, BDSF -6.0% 감소, BDWRF -7.20% 감소하였고, 바이오연료 20%에서도 부분 부하는 전체적인 감소율이 보였으며, 최대 부하 100% 경우 BDRF -28.00% 감소, BDSF -18.60% 감소, BDWRF -26.0% 감소하였다.

그 이유는 매연이 생성되는 연소에서 바이오연료 첨가로 산소함량이 증가되어 연료입자가 산화를 촉진시켰으며, 또한 분사된 연료의 증발 양이 많아지게 되어 매연입자가 산

화될 수 있는 기간이 증가하기 때문으로 생각된다(Needham et al., 1990).

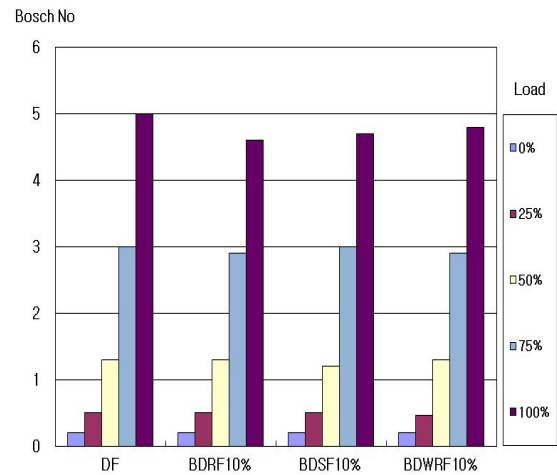


Fig. 8. Comparison of Soot by using Bio fuel 10% at 1800 rpm.

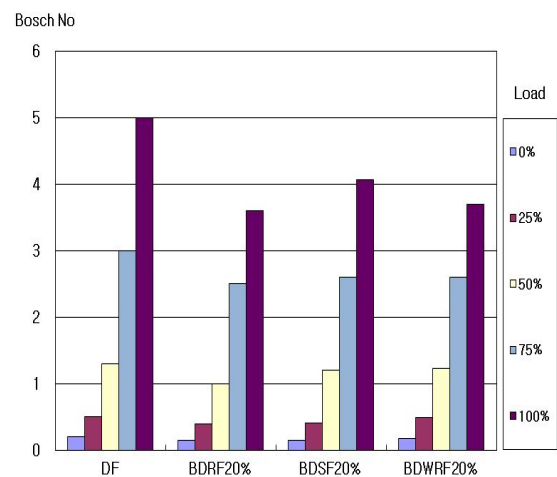


Fig. 9. Comparison of Soot by using Bio fuel 20% at 1800 rpm.

5. 결론

재생 대체연료의 대두유, 유채유, 폐유채유를 직접 제조생산 하였고, 선박기관을 새롭게 리모델링하여 친환경 바이오연료의 가능성을 규명해서 선박의 친환경적인 운항에 도움을 주고자 연구하였다. 그 결과 소형어선 기관에서 경제적인 운항 가능성을 확인하였으며, 선박기관에 있어서 바이오연료의 배기배출물특성에 미치는 영향을 종합적으로 분석·고찰한 결과, 바이오연료의 10%와 20%의 그 주요한 내용은 다음과 같다.

조상곤

1. 바이오연료의 성분에는 디젤 경유에 비하여 발열량이 적으면서 세탄가는 높고 그리고 산소함유량이 포함되어서 많은 영향을 미치고 있다. 그 결과 연료소비율은 바이오연료 10%일 때 평균 BDRF 2.20% 증가, BDSF 1.42% 증가, BDWRF 2.56% 증가하였다. 바이오연료 20%일 때 평균 BDRF 3.22% 증가, BDSF 2.35% 증가, BDWRF 3.90% 증가하였다.
2. 디젤 경유에 비하여 바이오연료를 사용함에 따라서 일산화탄소 배출은 개선되었다. 그리고 최대감소율은 부하 75%에서 BDRF의 경우에 -10.31%로 개선되었다.
3. 디젤 경유에 비하여 바이오연료를 사용함에 따라서 질소산화물은 증가하였는데, 질소산화물은 바이오연료 10%에서 부하 100% 경우 평균 1.15% 상승하였고. 바이오연료 20%에서 부하 100% 경우 평균 1.02% 상승하였다.
4. 디젤 경유에 비하여 바이오연료를 사용함에 따라서 매연 배출물은 개선되었으며, 바이오연료 10%에서 부하 100% 경우 평균 6.03% 개선되었고, 바이오연료 20%에서 부하 100% 경우 평균 24.3% 개선되었다.

References

- [1] Jung, S. H., 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, Korea Society for Power System Engineering, Vol. 8, No. 2, pp. 12-17.
- [2] Jeong, K. S., 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.
- [3] Kanne, D. D. and R. Y. Iwamoto(1988), A Novel Approach to the Control of Heavy-Duty Diesel Particulate Emissions, SAE 880634, pp. 1-12.
- [4] Lim, J. K. 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.
- [5] Lim, J. K. and S. G. Cho(2012), Effects of Fuel Injection Timing on Exhaust Emissions Characteristics of Biodiesel Blend Oil in Diesel Engine, KOSME, Vol. 36, No. 5, pp. 603-608.
- [6] Lim, J. K., S. Y. Choi and S. G. Cho(2009), Comparative Analysis on Combustion Characteristics of Diesel Oil and Biodiesel Blends in DI Diesel Engine, KSPSE, Vol. 13, No. 6, pp. 29-34.
- [7] Needham, J. R., 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.
- [8] Oh, O. T., K. J. Cheong and T. Murayama(1988), A Study on Alternative Fuel as Fuel Substitutes in Diesel Engine(II), KSAE, Vol. 10, No. 6, pp. 48-53.
- [9] Oh, O. T.(1998), A Study on Usability of Used Vegetable Oil as a Diesel Substitute in Diesel Engine, KSME, Vol. 22, No 4, pp. 481-488.
- [10] Plee, S. L., T. Ahamed, and J. 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] Pradeep, V. 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.
- [12] Ryu, K. H. and Y. T. Oh(2004), Durability Test of a Direct Injection Diesel Engine Using Biodiesel Fuel, Journal of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 12, No. 1, p. 32.
- [13] Ryu, K. Y. 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.
- [14] Satoh, K., S. Takahashi, T. Nishinura and K. Yokota(1997), Effect of Fuel Injection Rate Profile on Combustion and Emissions in a DI Diesel Engine, SAE 971259, pp. 29-34.
- [15] Schol, K. W. and S. C. Sorenson(1993), Combustion of Soybean Oil Methyl Ester in a Direct Injection Diesel Engine, SAE, 930934.

Received : 2015. 01. 22.

Revised : 2015. 02. 13. (1st)

: 2015. 02. 23. (2nd)

Accepted : 2015. 02. 25.