

선박용 디젤발전기에서 바이오연료의 연소 및 배기배출물 특성에 관한 연구 (저부하 영역 중심으로)

조상곤[†]

(Received February 24, 2015 ; Revised May 7, 2015 ; Accepted August 28, 2015)

A study on characteristics of combustion and exhaust emissions on bio-diesel fuel in marine diesel generator engine (Low load centering)

Sang-Gon Cho[†]

요약: 환경오염에 대한 심각성이 대두되면서 대기오염에 대한 규제가 강화되고 있다. 육상에서 사용하는 자동차 및 산업용 발전설비 뿐만 아니라 선박용 디젤기관에서도 규제를 시행하고 있어, 대체연료로서 바이오연료에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 따라서 실습선의 발전기관에 직접 바이오연료를 적용하여 기초적인 연구를 하고자 한다. 다만 실습선 안전을 위해 바이오연료의 비율을 많이 하지 못하지만 그래도 실험실에서 하는 작은 기관보다는 대형이면서, 큰 출력기관의 상태를 알아보는 중요한 기초자료가 될 것이다. 선박디젤발전기에서 바이오연료가 연소특성 및 배기배출물특성에 어떤 영향을 미치는지 연구하였다. 그 주요한 결과를 요약하면 다음과 같다. 바이오연료는 물리적·화학적 성분이 디젤경유와 비슷하여 실용 선박기관에 사용이 가능함을 알 수 있었다. 그리고 연료소비율과 NOx는 약간 증가하였으나, 일산화탄소와 매연은 감소하는 경향이 확인되었다. 또한 연소압력은 디젤경유와 바이오연료의 사용에 따라 크게 변화하지 않음을 알 수 있었다.

주제어: 선박디젤발전기, 바이오연료, 연료소비율, 연소특성, 배기배출물특성

Abstract: As the severity of environmental pollution has increased, restrictions on air pollution have been strengthened. Stringent regulations have been imposed, not only on marine diesel engines but also on automotive and industrial power plants. Thus, bio-fuels have been directly applied in practical engines and used in training ships for basic research. Even though a high biofuel percentage cannot be used in a training ship engine for safety reasons, because this type of engine is larger than those used in institutional laboratories, the results will provide important basic information that will allow organizations to determine the status of a large output. Biodiesel fuel was studied to determine how it would affect the combustion characteristics and exhaust emissions of a marine diesel generator engine. The main results can be summarized as follows. Because the physical and chemical compositions of biofuels are similar to those of diesel fuel, it was found that their practical use was possible in a training ship. The specific fuel consumption and NOx increased, whereas a tendency was found for carbon monoxide and soot to decrease. In addition, no significant pressure change difference was found between the diesel fuel and biofuels.

Key words: Marine diesel generator engine, Biodiesel fuel, Specific fuel oil consumption, Combustion characteristics, Exhaust emissions characteristics

1. 서론

지구의 온난화는 경제성장으로 인하여 발생하였고, 이것은 환경오염의 원인으로 대두되어 대기오염 규제가 크게 강화되고 있다. 이것은 화석연료의 급속한 사용으로 발생하는데, 화석연료의 사용을 조금 줄이면서 연소하는 자연재생에너지에 관심을 갖고 친환경 바이오연료에 많은 연구가 진행되고 있다[1]. 현재 육상기관에서 많은 연구가

진행되고 있지만 선박기관에도 많은 연구가 필요하다[2]. 바이오연료는 디젤경유의 대안으로 식물과 동물의 재생 가능한 자원으로 대체 에너지 중의 하나이다. 바이오연료의 물리적 성질과 화학적성분이 디젤경유와 비슷하지만 직접사용 할 경우에 연료의 높은 점도에 의한 분무특성 등이 문제가 발생되며, 낮은 온도에서 유동성이 떨어지고, 보관 방법 등 문제가 있다[3]-[5]. 그러므로 현재 바이오연

[†] Corresponding Author (ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1937-8674>): Division of Ships Operating Center, Kunsan National University, 558, Daehak-ro, Kunsan, Jeonbuk 573-701, E-mail:haerimho@kunsan.ac.kr, Tel:063-469-1727

료를 사용하기 위해서는 특성상 디젤경유와 혼합하여 사용해야 하는데 배합하는 비율의 정확성을 연구하고 있어서 개발되리라 생각한다. 바이오연료의 제조방법은 촉매를 사용하는 공정으로 바이오원료와 메탄올을 교반통에 넣어 촉매를 투입 후 약 65℃에서 24시간 동안 교반 제조하였고, 반응 후 글리세린과 분리하여 다시 증류장치에 가열하여 촉매제를 제거 후 증류하여 제조하였다. 따라서 본 연구실에서 직접제조한 바이오연료 체적비율로 10%, 20%, 30%씩 혼합에 의한 연소특성과 배기배출물특성에 미치는 영향을 연구하였다.

그리고 본 연구에서는 실험장치가 실습선 기관인 만큼 안정성을 확보되는 수준에서 부하와 바이오연료 비율을 선택하여 연구를 진행하였다.

2. 실험

2.1 실험장치

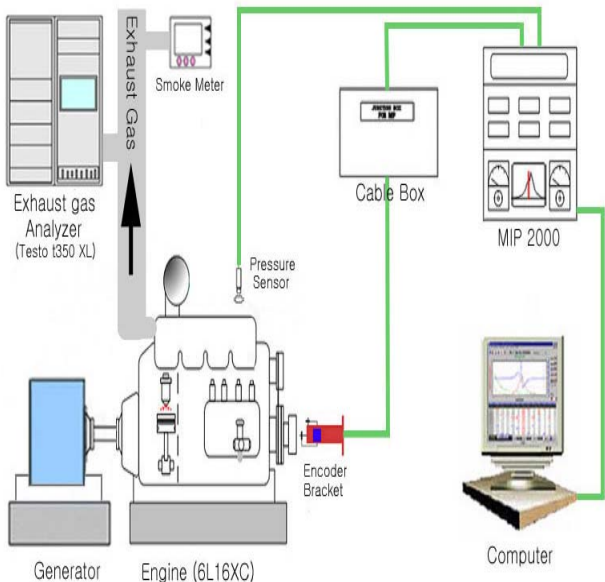


Figure 1: Schematic diagram of experimental apparatus

Table 1: Specification of test engine

Item	Specification
Number of cylinder	6
Type of cooling	Water-cooled
Cycle	4
Type of fuel injection	Direct injection
Bore× stroke (mm)	160 × 200
Piston displacement(cc)	24,126
Max. output	480ps / 1200 rpm (320 kW / 1200 rpm)
Compression ratio	17 : 1
Fuel injection timing	BTDC 21°C
Firing order	1-4-2-6-3-5

본 실험에 사용된 실험장치의 구성도는 Figure 1과 같고, 실험기관은 실습선발전기용 디젤기관으로 주요 제원은 Table 1과 같다.

기관의 출력은 발전기에서 생산된 전력을 이용하였고, 연소실의 압력측정은 첫 번째 실린더에 계측기기(MIP2000)를 설치하여 계측하였으며, 연료소비율의 측정에는 고정도 연료소비량계(OVAL, Flow PET-EN)를 사용하였고, 또한 배기배출물의 측정에는 배기분석기(Testo 350M-XL)를 사용하였으며, 매연은 광투과식(MEXA-130S) 및 Bosch식 측정기를 사용하였다.

2.2 실험방법

실험에 사용된 연료유의 화학적 성분과 물리적 성질은 Table 2와 같고, 본 연구에서는 기관회전속도 1200rpm으로 일정히 유지하고, 바이오연료 체적비율 0%~30%로 10% 간격으로 변화를 주고, 기관부하를 부분 저부하 0kW에서 90kW까지 30kW간격으로 변화시키면서 실험하였다.

실험을 하는 동안 수냉식 열교환기를 사용하여 기관의 냉각수와 윤활유 온도를 일정하게 유지하였고 기관의 작동 및 연소 상태를 파악하기 위하여 지압선도, 연소실 압력상승률 선도 등을 취득하였으며, 각 부위(배기관 입출구, 냉각수 입·출구, 윤활유, 흡입공기)의 온도를 계측하였다. 연소압력 측정방법은 실린더 1번에 계측기기(MIP 2000)연결하여 계측하였고, 신호는 크랭크 축에 연결된 회전엔코더 등으로부터 데이터를 계측하였다.

또 배기가스 분석기와 매연측정기를 “0”점 조정하고, 표준가스(측정범위의 80%인 보정용 가스)농도와 일치하도록 보정실험을 한 후에 각종 배기배출물을 측정하였다.

Table 2: Properties of test fuel

Item	Diesel fuel	BDF 100
Carbon(Wt.%)	85.83	77.26
Calorific value(MJ/kg)	42.8	36.79
Cetane number	51.4	57.9
Sulfur(%)	0.004	0
Flash point(°C)	78	134
Kinematic viscosity(cSt@40°C)	2.570	4.382
Water(%)	0	0.1396
Specific gravity (15/4°C)	0.8449	0.8808
Oxygen(wt.%)	0	9.7

3. 실험결과 및 고찰

3.1 연료소비율

Figure 2는 기관회전수 1200rpm에서 부하의 변화와 바이오연료 비율 변화에 따른 연료소비율을 나타낸 것이다.

연료소비율은 부하가 30kW에서 90kW로 증가함에 따라 감소하고, 비율이 증가할수록 점점 증가했으며, 바이오연료 체적비율 BDF 10%는 부하 60kW에서 최고 1.68% 증가하였고, 평균은 1.12% 증가하였다. BDF 20%는 부하 60kW에서 최고 3.62% 증가하였고, 평균은 2.31% 증가하였다. BDF 30%는 부하 60kW에서 최고 4.86% 증가하였고, 평균은 3.46% 증가하였다. 동일한 출력을 발생시키기 위해서는 그 만큼의 발열량이 필요한데 바이오연료는 약 14% 작으므로, 연소실의 압력이 저하가 되어서 더 많은 연료가 필요하여 증가하였다[6]. 이것은 바이오연료에 함유되어 있는 약 9.7%의 용존산소가 연소과정에서 산소와 접촉하는 양이 많아지므로 완전연소에 좀 더 가깝게 할 수 있기 때문으로 생각된다. 실험결과도 바이오연료 첨가하는 비율에 비하여 연료소비율이 산소함유량 영향으로 크게 증가하지 않음을 알 수 있었다.

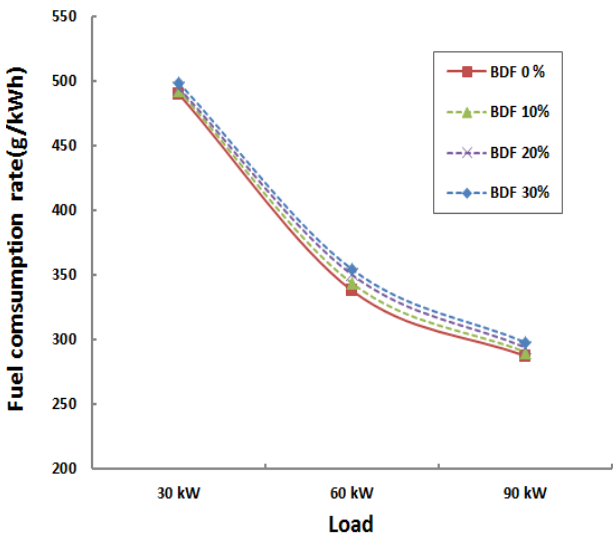


Figure 2: Specific fuel consumption of various biodiesel fuel at 1200rpm

3.2 질소산화물

NO_x의 배출량은 Figure 3와 같으며, 30kW에서 90kW로 부하가 증가할수록 NO_x의 배출량이 증가하는 경향으로 나타났고, 바이오연료비율이 증가 할수록 더욱더 많이 발생되었다. 바이오연료 체적비율 BDF 10%는 부하 90kW에서 최고 2.52% 증가하였고, 평균 1.63% 증가하였다. BDF 20%는 부하 90kW에서 최고 4.97% 증가하였고, 평균 3.01% 증가하였다. BDF 30%는 부하 90kW에서 최고 7.48% 증가하였고, 평균 4.35% 증가하였다. NO_x는 고온연소 과정 동안에 질소와 산소가 고온으로 반응하여 생성되므로 용존산소가 연소를 활성화하여 고온을 발생시켰고, 또한 바이오연료에는 세탄가가 높아 연소실내의 순간온도가 상승되어 배출량이 증가된 것으로 생각된다[7]. 이것은 실린더내의 압력이 상승하므로 연소실 온도가 증가되어 NO_x의 생성량이 많아진 것으로 사료된다[8].

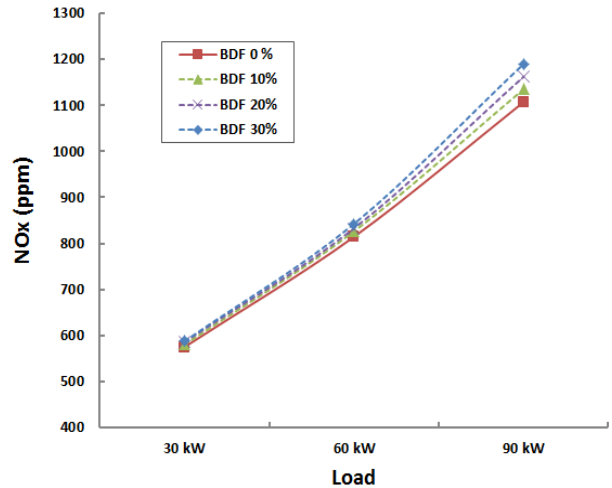


Figure 3: NO_x emission characteristics of various biodiesel fuel at 1200rpm

3.3 일산화탄소

CO의 배출량은 Figure 4와 같으며, 부하가 증가하면 할수록 부하 75%에 일반적으로 아래로 볼록한 형태로 감소하는 경향인데, 실습기관의 운전이 저부하 부분이기에 그 형상은 나타나지 않고, 바이오연료 비율이 증가에 따라서 약간씩 감소하는 경향이다. 바이오연료 체적비율 BDF 10%는 평균 -3.91% 감소하였으며, BDF 20%는 평균 -6.60% 감소하였고, BDF 30%는 평균 -11.27% 감소하였다. 산소가 부족하여 CO가 발생하고, 발생한 CO가 완전한 연소를 하지 못한 상태에서 배출되기 때문이다[9]. Lim은 CO가 연소되어야 할 연료에 대하여 산소가 부족한 상태에서 발생하며, 일반적으로 디젤기관에서는 전부하시 CO농도가 급증하지만, 저 부하에서도 CO농도가 많이 발생하여 증가한다. 본 실험결과에서 산소함유량이 완전연소를 촉진하여 감소하는 결과를 얻을 수 있었다.

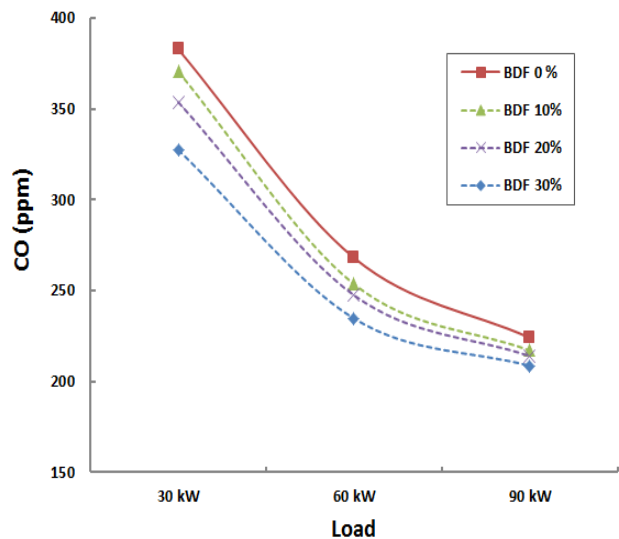


Figure 4: CO emission characteristics of various biodiesel fuel at 1200rpm

3.4 매연

매연의 배출량은 Figure 5와 같다. 부하가 증가할수록 많이 증가하였으며, 바이오연료 비율이 증가함에 따라서 매연배출물은 감소하는 경향을 나타내었다. 바이오연료 체적비율 BDF 10%의 평균 -4.51% 감소하였으며, BDF 20%는 평균 -12.78% 감소하였고, BDF 30%는 평균 -20.50% 감소하였다. 그것은 바이오연료에 포함된 산소함유량이 연소과정에서 분사된 연료의 증발이 지속되어 연료증기의 양이 많아지게 되고 급격한 연소로 실린더 내의 온도가 증가하여 매연입자가 산화될 수 있는 기간이 증가하기 때문이다[10]. 본 실험결과에서도 바이오연료의 첨가비율이 증가 할수록 매연미립자는 많이 감소함을 알 수 있었다.

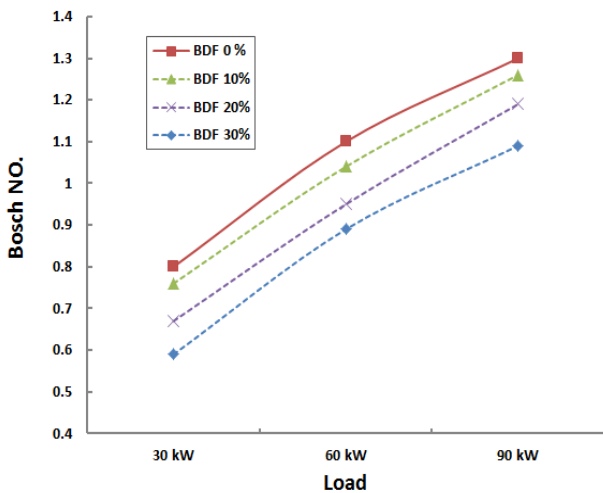
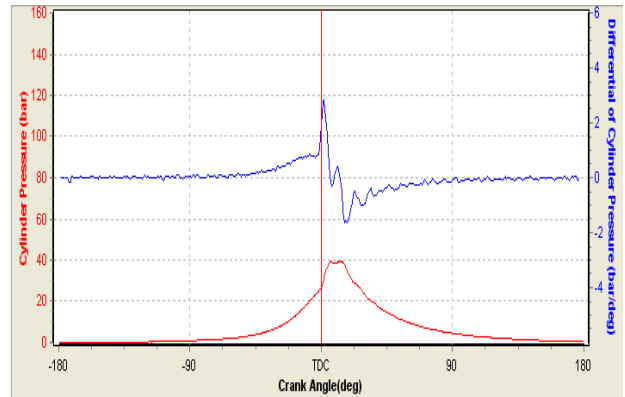


Figure 5: Soot emission characteristics of various biodiesel fuel at 1200rpm

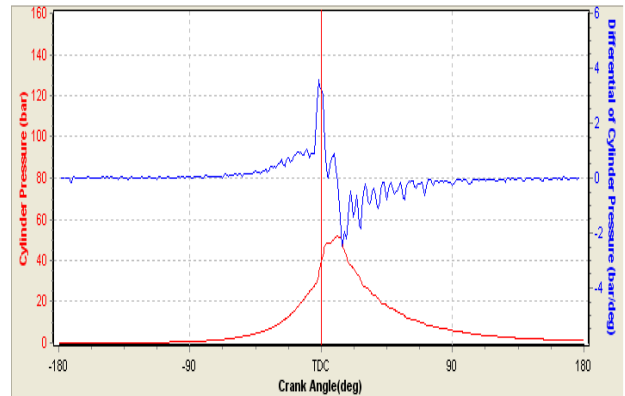
3.5 압력

Figure 6, 7은 크랭크 각도에 대한 실린더 압력을 나타낸 그림이며, 부하가 증가함에 따라 압력이 상승하는 경향이 나타났다. 바이오연료 비율이 증가함에 따라 약간의 감소와 비슷한 경향을 보이고 있다.

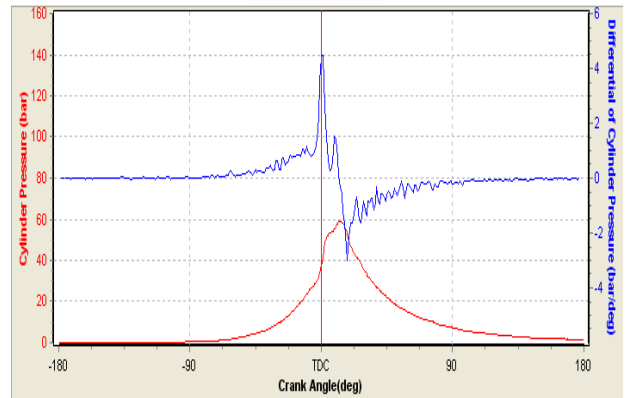
연소실 최고압력 시점이 부하가 증가하면서 약간 빠른 것은 연소실 온도의 상승으로 인해 착화시기가 빨라진 것으로 판단된다. 그리고 바이오연료에는 디젤경유 비해서 특정 성분이 포함하고 있는데, 이것은 높은 점도와 세탄가 등이 있어서 연소에 미치는 영향이 크다. 또한 발열량이 14% 적고, 산소함유량은 9.7%가 많은 특징이 있다. 이런 부분에 많은 연구자들이 기관의 회전수와 부하 등의 영향으로 압력이 높은 경우가 있고, 낮은 경우가 있다고 하였다[11]. 본 연구결과에서도 바이오연료의 비율이 증가하였을 때 연소실 압력이 비슷하거나 약간 감소하는데, 그 이유는 바이오연료에 적은 발열량으로 압력이 많이 낮을 거라고 생각했지만, 실제로 약간 낮거나 비슷하였기에 산소함유량과 세탄가가 높아서 연소과정을 촉진시켜서 완전연소를 형성하는데 기인하였기 때문으로 생각된다.



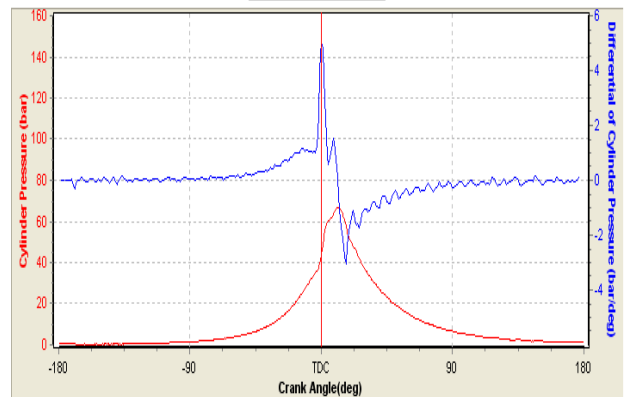
BDF 0% Load 0KW



BDF 0% Load 30KW



BDF 0% Load 60KW



BDF 0% Load 90KW

Figure 6: Cylinder pressure and rate of pressure rise of various load at 1200rpm and BDF 0%

4. 결 론

본 논문은 디젤기관에서 배출하는 배기가스가 환경오염의 주원인으로서 이에 대체에너지에 관심이 증가되고 있는데, 선박기관에서 대체에너지인 바이오연료를 이용하여 실험한 결과이다. 본 실험기관은 실습선 중형발전기관으로 친환경 바이오연료를 사용하여 실용기관에 가능성을 연구하였으며, 본 실습선 안정성을 고려한 측면에서 저부하 영역범위에서 가능성을 확인하였고, 그 실험적 분석·고찰한 결과는 다음과 같다.

1. 연료소비율은 바이오연료 체적비율 BDF 10%는 부하 60kW에서 최고 1.68% 증가하였고, 평균은 1.12% 증가하였다. BDF 20%는 부하 60kW에서 최고 3.62% 증가하였고, 평균은 2.31% 증가하였다. BDF 30%는 부하 60kW에서 최고 4.86% 증가하였고, 평균은 3.46% 증가하였다.
2. 질소산화물은 바이오연료 체적비율 BDF 10%는 부하 90kW에서 최고 2.52% 증가하였고, 평균은 1.63% 증가하였다. BDF 20%는 부하 90kW에서 최고 4.97% 증가하였고, 평균은 3.01% 증가하였다. BDF 30%는 부하 90kW에서 최고 7.48% 증가하였고, 평균은 4.35% 증가하였다.
3. 일산화탄소는 바이오연료 체적비율 BDF 10%는 평균은 -3.91% 감소하였으며, BDF 20%는 평균은 -6.60% 감소하였고, BDF 30%는 평균은 -11.27% 감소하였다.
4. 매연(Soot)은 바이오연료 체적비율 BDF 10%는 평균은 -4.51% 감소하였으며, BDF 20%는 평균은 -12.78% 감소하였고, BDF 30%는 평균은 -20.50% 감소하였다.
5. 실린더 압력은 바이오연료 체적비율이 증가하였을 경우에 비슷하거나, 약간 낮게 나타냈는데, 바이오연료의 성분에 발열량, 세탄가, 점도, 산소함유량이 크게 영향을 미치기 때문으로 생각된다.

References

- [1] V. Pradeep and R. P. Sharma, "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, 2007.
- [2] K. H. Park, J. Y. Kim, C. J. Kim, J. H. Ko, and H. I. Park, "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, 2012 (in Korean).
- [3] O. T. Oh, "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, 1998 (in Korean).
- [4] O. T. Oh, K. J. Cheong, and T. Murayama, "A study on alternative fuel as fuel substitutes in diesel engine

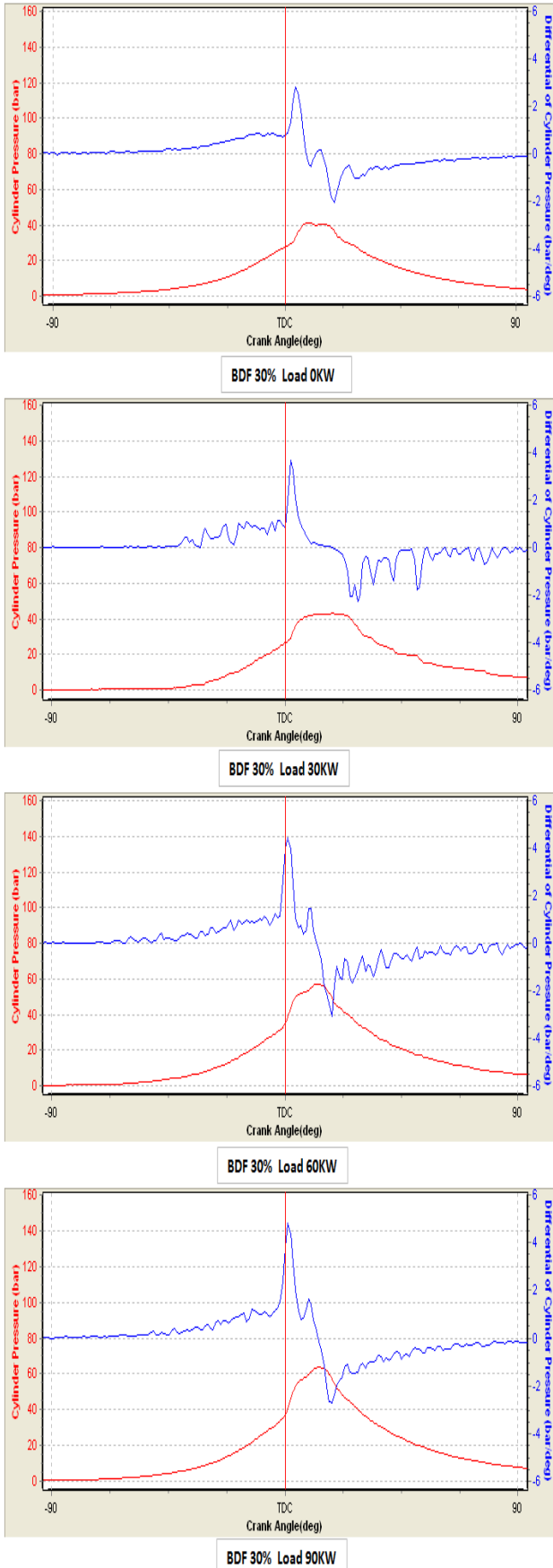


Figure 7: Cylinder pressure and rate of pressure rise of various load at 1200rpm and BDF 30%

- (II),” Journal of the Korean Society of Automotive Engineers, vol. 10, no. 6, pp. 48-53, 1988 (in Korean).
- [5] S. Y. Ahn, W. I. Kim, and C. S. Lee, “A study on spray characteristics of biodiesel derived from waste cooking oil,” Journal of Ilass-Korea, vol. 18, no. 4, pp. 182-187, 2013 (in Korean).
- [6] J. K. Lim and S. G. Cho, “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, 2008 (in Korean).
- [7] K. S. Jeong, D. G. Lee, H. G. Roh, and C. S. Lee, “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, 2011 (in Korean).
- [8] K. Y. Ryu and Y. T. Oh, “Combustion characteristics and durability of diesel engines burning BDF 20,” The Korean Society of Automotive Engineers, vol. 15, no. 3, pp. 18-28, 2007 (in Korean).
- [9] S. L. Plee, T. J. Ahamed, and P. Myers, “Flame temperature correlation for the effects of EGR on diesel particulate and NO_x Emissions,” Society of Automotive Engineers, 811195, 1981.
- [10] J. R. Needham, M. P. May, D. M. Doyle, S. A. Faulkner, and H. Ishiwata, “Injection timing and rate control a solution for low emissions,” Society of Automotive Engineers 900854, pp. 8-10, 1990.
- [11] S. K. Yoon, M. S. Kim, and N. J. Choi, “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, 2014 (in Korean).