

직접분사식 디젤기관에서 연료소비율 및 배기배출물 특성에 미치는 바이오디젤유의 영향 - 유채유를 중심으로 -

임재근* · 최순열** · 김석준*** · 조상곤****

*, ** 군산대학교 동력기계시스템공학전공, *** 군산대학교 나노화학공학전공, **** 군산대학교

Effects of Biodiesel Fuel on Characteristics of Specific Fuel Consumption and Exhaust Emissions in DI Diesel Engine - Using Rape Oil -

Jae-Keun Lim* · Soon-Youl Choi** · Suk-Joon Kim*** · Sang-Gon Cho****

*, ** Major in Power System Engineering, Kunsan National University, Gunsan, 573-701, Korea

*** Major in Nano-Chemical Engineering, Kunsan National University, Gunsan, 573-701, Korea

**** Kunsan National University, Gunsan, 573-701, Korea

요 약 : 산유국으로부터 에너지 독립을 하고 대기오염방지를 위한 배기배출물을 저감시키기 위하여 대체연료에 많은 관심을 가지고 있다. 폐유나 새로운 식물성 기름과 동물성 기름으로부터 생성할 수 있는 바이오디젤유가 압축점화기관인 디젤기관에 구조적인 변화없이 사용될 수 있다. 이 논문에서는 4행정 직접분사식 디젤기관을 이용하여 순수 디젤유와 바이오디젤 혼합유(바이오디젤 10% 및 20% 함유)의 연료소비율과 배기배출물에 미치는 영향을 제시했으며, 특히 실험에 사용된 바이오디젤 연료는 우리 실험실에서 유채유로부터 직접 생산되었다. 이 연구 결과 바이오디젤 혼합유가 디젤유보다 연료소비율과 질소산화물은 약간 증가 되었고 일산화탄소와 매연은 상당히 감소되었다.

핵심용어 : 배기배출물, 바이오디젤유, 바이오디젤혼합유(디젤유 90%, 바이오디젤유 10%), 바이오디젤유 100%, 연료소비율, 일산화탄소, 질소산화물, 매연

Abstract : We have a lot of interest in alternative fuels to provide energy independence from oil producing country and to reduce exhaust emissions for air pollution prevention. Biodiesel, which can be generated from natural renewable sources such as new or used vegetable oils or animal fats, may be used as fuel without change of engine structure in diesel engine of compression ignition engine. In this paper, the test results on specific fuel consumption and exhaust emissions 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 rape oil at our laboratory by ourselves. This study showed that specific fuel consumption and NOx emission were slightly increased, on the other hand CO emission and Soot were tolerably decreased more in the case of biodiesel blends than neat diesel oil.

Key Words : Exhaust emission, Biodiesel fuel, BDF 10, BDF 100, Specific fuel consumption(SFC), CO, NOx, Soot

1. 서 론

디젤기관은 열효율이 높고 연료소비율이 적으므로 선박용기관이나 장거리 대형 자동차용기관으로 많이 사용되고 있다. 그러나 디젤기관의 연료로 사용되어온 석유에너지는 가격이 급등

할 뿐만 아니라 수요가 점차 증가하고, 잔존 매장량은 급속도로 감소하므로 장래의 에너지 보급에 있어서 심각한 문제가 아닐 수 없다. 더욱이 디젤기관으로부터 배출되는 여러 가지 대기오염물질이 환경오염의 원인이 되므로 대기오염원을 줄이기 위하여 전 세계적으로 다양한 기술이 연구되고 있으며 유해배출가스를 규제하기 위한 규정도 점차 강화되고 있다.

이러한 문제점 때문에 대체에너지 자원의 개발이 절실히 요구되고 있다. 대체에너지로는 원자력에너지, 태양에너지 및 풍력에너지 등 여러 가지가 있으나 원자력에너지는 위험성과 핵연료의 뒤처리 문제가 어렵고, 태양에너지와 풍력에너지는 기후

* 대표저자 : 정희원, jkim@kunsan.ac.kr, 063-469-1845

** 정희원, sychoe@kunsan.ac.kr, 063-469-1844

*** 비희원, sjkim@kunsan.ac.kr, 063469-4777

**** 비희원, haerim@kunsan.ac.kr, 063-469-1752

에 영향을 많이 받으므로 보조설비를 갖추어야 하는 점 때문에 제약을 많이 받고 있다. 뿐만 아니라 유엔의 정부간 기후변화위원회(IPCC)의 보고서에 의하면 교토(京都)의정서가 규정한 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O), 과불화탄소(PFCs), 수소불화탄소(HFCs) 및 육불화황(SF₆) 등 6종류의 온실가스 배출량은 1970년부터 2004년 사이에 약 70% 증가했다. 따라서 기후변화에 따른 전 지구적 재앙을 막기 위해서는 2015년을 정점으로 온실가스 배출량이 대폭 감소되어야 한다고 최근에 발표했다(유엔 정부간 기후변화 위원회, 2007). 그런데 바이오디젤 연료는 뒤처리에 문제가 없고, 보조설비가 필요하지 않으며, 경유와 특성이 같아서 현재의 디젤기관을 변형시키지 않고 그대로 사용할 수 있으며, 대기로 방출된 이산화탄소(CO₂)의 75%가 식물을 재배하는 과정에서 소비된 것으로 간주하는 유엔기후변화 협약에 따라 이산화탄소를 대폭적으로 저감시킬 수 있는 효과가 있어 그의 연구에 초점이 모아지고 있다(Ziejewski et al., 1984; Kyle and Sorenson, 1993; Hires et al., 1993). Hayes et al.(2006)은 자동차의 배기배출물에 대한 바이오디젤 혼합유의 영향에 대하여 연구하였고, Tonon et al.(2004)은 보일러의 배기배출물에 대한 바이오디젤유의 영향에 대하여 연구하였다.

본 연구에서는 선박용 기관인 직접분사식 4행정 디젤기관에 유체유로부터 바이오디젤 연료를 실험실에서 직접 제조하여 디젤유와 섞은 혼합유를 사용해서 기관의 연료소비율 및 배기배출물 특성에 미치는 영향을 분석·고찰하고자 한다.

2. 실험

2.1 바이오디젤 연료의 제조

바이오디젤 연료를 제조하는 공정은 크게 촉매를 사용하는 공정과 촉매를 사용하지 않는 공정으로 나뉜다.

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

본 실험에서 바이오디젤 연료의 제조는 촉매를 사용하는 공정을 이용했으며 5리터의 반응조에 대두유 3리터와 메탄올 1.5리터(물비로 약 1:8)를 넣고, 촉매로 CaO 30g 및 NaOH 5g을 넣은 후 약 65°C에서 24시간 동안 교반하여 제조하였다.

반응 후 24시간정도 상온에 방치하여 글리세린 층을 바이오디젤 연료 층과 분리하기 위하여, 바이오디젤 연료 층인 상부 층을 따라내었다. 또 이를 증류장치에서 가열하여 약 150°C 이 전까지는 미반응 메탄올이 제거되었고 바이오디젤 연료는 340~420°C 구간에서 증류되었다. 증류된 바이오디젤 연료는 더 이상의 중화과정 없이 바로 사용하였으며 경유와 비교한 그의 물성치는 Table 1과 같다.

Table 1. Properties of test fuels

| Item | Test fuels | |
|-------------------------------|-------------|--------|
| | Diesel fuel | BDF100 |
| Flash point(°C) | 75°C | 126°C |
| Specific gravity(15/4°C) | 0.8342 | 0.8605 |
| Kinematic Viscosity(cSt@40°C) | 2.67 | 3.582 |
| Sulfur(%) | 0.04 | 0 |
| Water(%) | 0 | 0.1401 |
| Calorific value(MJ/kg) | 42.8 | 36.55 |
| Carbon(Wt.%) | 85.83 | 77.26 |
| Hydrogen(Wt.%) | 13.82 | 12.76 |
| Nitrogen(Wt.%) | 0.16 | 0.08 |
| Oxygen(Wt.%) | 0 | 9.9 |

2.2 실험장치

본 실험에 사용된 실험장치의 구성도는 Fig. 1과 같으며, 실험기관은 발전기용 디젤기관으로 주요 제원은 Table 2와 같다.

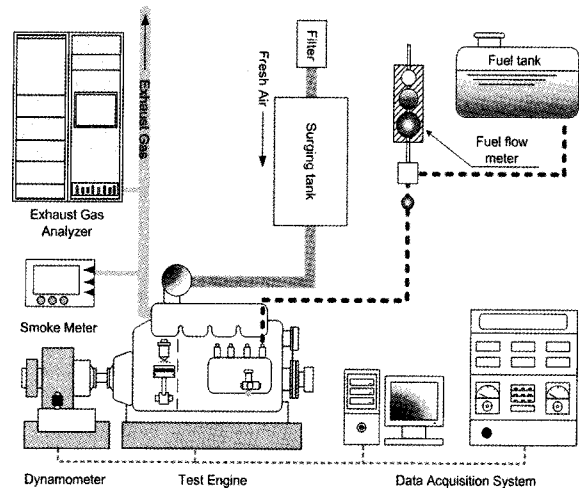


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

Table 2. Specification of test engine

| Item | Specification |
|--------------------------|---|
| Number of Cylinder | 4 |
| Type of Cooling | Water-cooled |
| Cycle | 4 |
| Type of Fuel Injection | Direct injection |
| Bore× Stroke (mm) | 102 × 100 |
| Piston displacement (cc) | 3,268 |
| Max. output | 43 PS / 1800 rpm (31.63 kW / 1800 rpm) |
| Compression ratio | 17 : 1 |
| Fuel Injection Timing | BTDC 18°CA |
| Firing Order | 1 - 3 - 4 - 2 |

기관의 출력은 와류형 전기동력계를 사용하여 측정하였으며 연소실의 압력측정을 위하여 첫 번째 실린더에 압전식(Piezo-electric type) 압력변환기를 설치하였다. 연료소비율의 측정은 고정도 연료소비량계(FM-257)를 사용하였으며 흡입공기량의 측정은 오리피스식 공기유량계(50MC2-4F)를 사용하였다. 그리고 기관의 흡기 측에 서지탱크(Surge tank)를 설치하여 흡기의 흐름이 균일하여 지도록 하였다. 또한 배기배출물의 측정은 배기분석기(Signal emirak rag4873)와 광투과식(MEXA-130S) 매연측정기를 사용하였다.

2.3 실험방법

본 연구에서는 기관회전속도 1800rpm의 경우에 대하여 기관부하를 0%에서 100%까지 25% 간격으로 바이오디젤유의 혼합비율을 체적으로 0%, 10%, 20%로 변화시키면서 실험하였다.

2개의 파라미터 중 1개를 고정하고 하나만을 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 계측하였다.

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 토크 값을 확인한 후 동력을 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 연료소비율

바이오디젤 연료의 체적비율에 따른 연료소비율의 값을 Fig.2에 나타냈다. 그 결과 1800rpm에서 일반 경유보다 BDF10은 평균 1.52% 증가되었고, 부하 25%에서 최대 1.84% 증가되었다. 그리고 BDF20에서는 평균 1.98% 증가되었고, 부하 25%에서 최대 2.80% 증가되었다.

기관이 동일한 출력을 발생시키기 위해서는 동일한 연소실 온도와 압력을 필요로 하는데 경유에 비해서 바이오디젤 연료는 발열량이 17.1% 작으므로 바이오디젤 연료 첨가로 인해 연소실 온도와 압력의 저하가 발생하기 때문에 온도와 압력을 일정히 유지하기 위하여 더 많은 연료가 소비된 것이다.

그러나 연료의 연소 측면에서는 바이오디젤 연료에 함유되어 있는 용존산소로 인하여 연료와 산소가 접촉면적을 넓힘으로서 완전연소에 좀 더 가깝게 할 수 있기 때문에 경유만을 연소시켰을 경우에 비하여 약간 연료소비율이 감소된다고 판단 할 수도 있으나, 그 영향이 발열량의 영향보다 적기 때문에 연료소비율이 종합적으로 증가 되었다고 생각된다(Reece and Peterson, 1993).

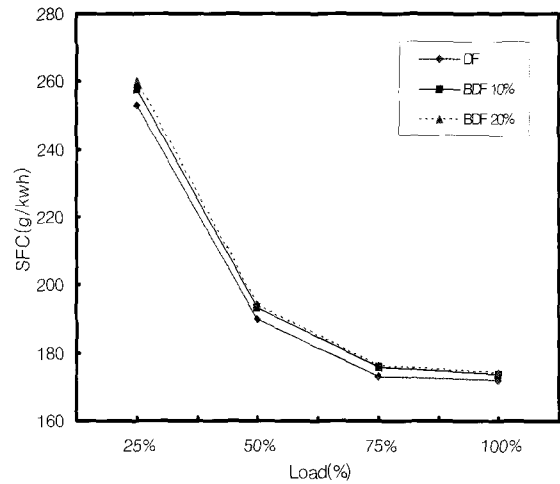


Fig. 2. Comparison of specific fuel consumption at various engine loads.

3.2. 일산화탄소(CO)

CO의 배출량은 Fig. 3과 같다. 바이오디젤 연료 함유량이 증가할수록 감소하는 경향이 나타났으며, 바이오디젤 연료 BDF10은 평균 5.14% 감소되었고, 무부하 영역에서 최대 6.09% 감소되었다. 그리고 BDF20에서는 평균 7.75% 감소되었고, 무부하 영역에서 최대 9.13% 감소되었다. CO는 탄화수소계 연료의 불완전연소로 인해 생성되는 것으로 그 원인은 온도가 충분히 높지 않아 산화반응이 완전히 일어나지 않거나 또는 분무의 중심과 실린더벽 근처에서 국부적으로 산소와 연료의 혼합 상태가 양호하지 않기 때문이다. 그러나 바이오디젤연료는 일반 경유보다 산소함유량이 약 9.9% 정도 많으므로 연료중의 용존 산소를 촉진하여 CO배출물은 감소된다고 생각된다(Rakopoulos et al., 2006).

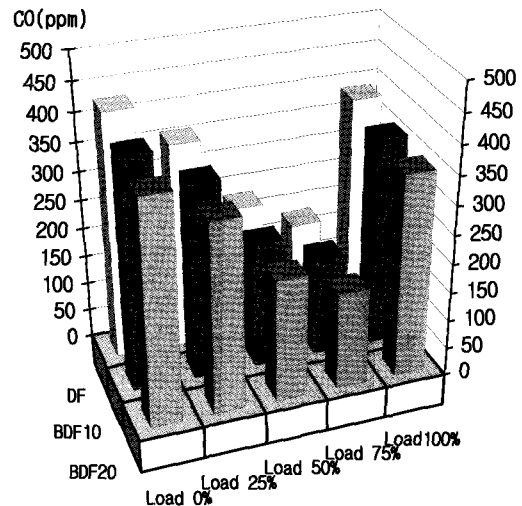


Fig. 3. CO emission characteristics at various engine loads.

3.3. 질소산화물(NO_x)

디젤기관에서 배출되는 NO_x는 높은 열효율을 위한 고온 사이클과 저속회전, 고압축비 등에 채용되며, 디젤기관에서 NO_x는 고온 연소과정 동안에 공기중의 질소나 연료 중에 함유된 질소혼합물이 산소원자와 고온반응하여 생성된다.

실험결과, NO_x의 배출량은 Fig. 4와 같으며, 바이오디젤 연료 함유량이 증가할수록 NO_x의 배출량이 증가하는 경향으로 나타났고, BDF10은 평균 2.97% 증가되었고, 무부하 영역에서 최대 3.74% 증가되었다. 그리고 BDF20에서는 평균 3.84% 증가되었고, 무부하 영역에서 최대 4.67% 증가되었다.

그 이유는 바이오디젤 연료에 함유된 약 9.9% 정도의 산소성분이 연소실내의 온도를 높여주어 NO_x의 증가를 가져온 것으로 생각된다(Aaron et al., 2006).

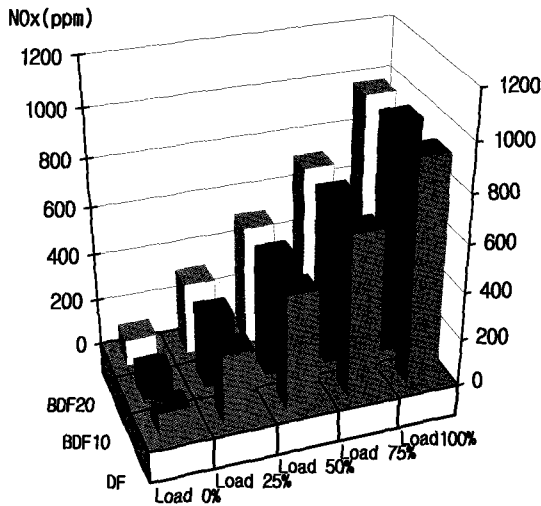


Fig. 4. NO_x emission characteristics at various engine loads.

3.4. 매연(Soot)

매연의 배출량은 Fig. 5와 같다. 바이오디젤 연료의 비율이 증가할수록 약간 감소하는 경향이 나타났으며, BDF10은 평균 9.36% 감소되었고, 부하 75%영역에서 최대 10.85% 감소되었다. 그리고 BDF20에서는 평균 11.99% 감소되었고, 부하 75%영역에서 최대 13.95% 감소되었다.

이는 바이오디젤 연료의 사용에 따라 산소 함유량이 많은 연료가 과농한 연료 중심부의 산소 농도를 증가시켜 연료와 공기의 혼합이 촉진되어 양호한 연소가 일어나기 때문으로 생각된다(U.S. Department of Energy, 2006; Makareviciene and Janulis, 2003).

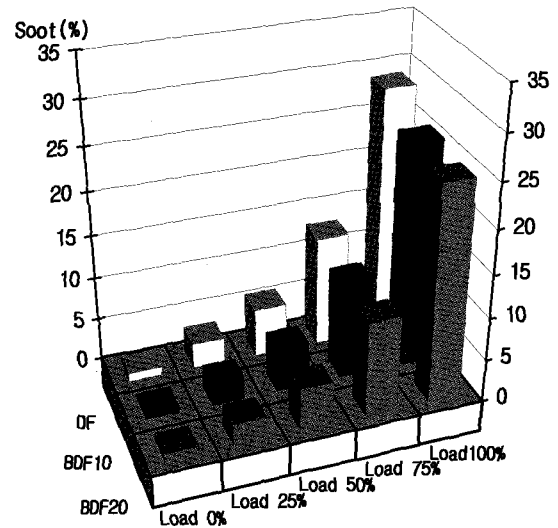


Fig. 5. Soot emission characteristics at various engine loads.

화석연료는 매장량이 한정되어 앞으로 일정기간 동안에만 사용할 수 있으며, 연소시 대기에 많은 유해물질을 배출하고 있으나 바이오디젤 연료는 계속하여 생산할 수 있으며, 유해물질도 적게 배출되는 것으로 알려져 있다.

따라서 그의 경향과 정도를 명확히 규명하기 위하여 바이오디젤 연료를 실험실에서 유채유로부터 직접 제조하여 경유와 섞은 혼합유(BDF10 및 BDF20)를 직접분사식 4행정 디젤기관으로 실험한 결과 연료소비율과 배기배출물 특성에 미치는 영향은 다음과 같다.

1. 연료소비율은 바이오디젤 혼합유가 경유에 비하여 미소량 증가되었으며, BDF10에서 평균 +1.52%, BDF20에서는 평균 +1.98%로 바이오디젤 혼합비의 증가율보다 연료소비 증가율이 약간 감소되었다.

2. 일산화탄소(CO)와 매연(Soot)의 배출량은 바이오디젤 혼합유가 경유에 비하여 감소되었으며, 일산화탄소(CO)의 경우 BDF10에서 평균 -5.14%, BDF20에서는 평균 -7.75%로 상당히 감소되었고, 매연(Soot)의 경우 BDF10에서 평균 -9.36%, BDF20에서는 평균 -11.99%로 현저히 감소되어 대기오염 저감에 효과적이다.

3. 질소산화물(NO_x)의 배출량은 바이오디젤 혼합유가 경유에 비하여 약간 증가되었으며, BDF10에서 평균 +2.97%, BDF20에서는 평균 +3.84% 증가되었다.

참고 문헌

[1] 유엔 정부간 기후변화위원회(ICPP)(2007), 기후변화 보고서자료, 원본출처:홈페이지(<http://www.ipcc.ch>)
 [2] Aaron Williams, Robert L. McCormick, R. Robert Hayes and John Ireland(2006), Effect of Biodiesel Blends on Diesel Particulate Filter Performance,

4. 결 론

SAE Paper, No. 2006-01-3280.

- [3] Hayes R. R., McCormick R. L., A. Williams, J. Ireland and M. Brimhall(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.
- [4] Hires W. G., Schuacher Lm. G., S. C. Borgelt (1993), Soydiesel/Biodiesel Blend Research, ASAE Paper, No. 93-6523.
- [5] Kyle W. Scholl and Spencer C. Sorenson(1993), Combustion of Soybean Oil Methyl Ester in a Direct Injection Diesel Engine, SAE Paper, No. 930934.
- [6] Makareviciene V. and P. Janulis(2003), Environmental Effect of Rapeseed Oil Ethyl Ester, Renewable Energy, pp. 2395-2403.
- [7] Rakopoulos C. D., K. A. Antonopoulos, D. C. Rakopoulos, D. T. Hountalas and E. G. Giakoumis(2006), Comparative Performance and Emissions Study of a Direct Injection Diesel Engine Using Blends of Diesel Fuel with Vegetable Oils or Bio-Diesels of Various Origins, Energy Conversion & Management, pp. 3272-3287.
- [8] Reece D. L. and C. L. Peterson(1993), A Report on the Idaho on-road Vehicle Test with RME and Neat Rapeseed Oil as an Alternative to Diesel Fuel, ASAE Paper, No. 93-5018.
- [9] Tonon S., Carraretto C., A. Macor, A. Mirandola, and A. Stoppato (2004), Biodiesel as alternative fuel: Experimental analysis and energetic evaluations, Energy, pp. 2195-2211.
- [10] U.S. Department of Energy(2006), Biodiesel Handling and use Guidelines, Energy Efficiency and Renewable Energy, DOE/GO-102006-2358.
- [11] Ziejewski, M. Kaufman, K. R. Schwab, and E. H. Pryde(1984), Diesel Engine Evaluation of a Nonionic Sunflower Oil-aqueous Ethanol Microemulsion, Journal of the American Oil Chemists, Vol.61, No.10, pp. 1620-1626.

원고접수일 : 2008년 01월 07일

원고채택일 : 2008년 03월 21일