

디젤기관에서 바이오디젤 연료가 배기배출물 특성에 미치는 영향 (대두유를 중심으로)

임재근[†] · 최순열* · 조상곤**

(원고접수일 : 2007년 8월 23일, 심사완료일 : 2007년 11월 26일)

Effects of Biodiesel Fuel on Exhaust Emission Characteristics in Diesel Engine (Using Soybean Oil)

Jae-Keun Lim[†] · Soon-Youl Choi* · Sang-Gon Cho**

Abstract : Recently, 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 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 soybean oil at our laboratory.

This study showed that Soot and CO emission were decreased as the blending ratios of biodiesel to diesel oil increased, on the other hand NOx emission was slightly increased because of the oxygen content in biodiesel.

Also, the biodiesel blends yielded slightly higher specific fuel consumption than that of diesel oil because of lower heating value of biodiesel.

Key words : Exhaust emission(배기배출물), Biodiesel fuel(BDF, 바이오디젤 연료), Specific fuel consumption(SFC)(연료소비율), CO(일산화탄소), NOx(질소산화물), Soot(매연)

1. 서 론

최근에 급속한 경제성장으로 화석연료의 사용이

증가되고, 그로 인하여 환경오염문제가 심각하게 대두되고 있다. 따라서 오염원을 줄이기 위하여 전 세계적으로 다양한 기술이 개발되고 있으며, 유해배

[†] 교신저자(군산대학교 동력기계시스템공학전공), E-mail: jklim@kunsan.ac.kr, Tel: 063)469-1845

* 군산대학교 동력기계시스템공학전공

** 군산대학교 실습선

출가스를 규제하기위한 규정도 점차 강화되고 있다.

디젤기관에 연료로 사용되어온 석유에너지는 수요가 점차 증가하고, 잔존 매장량은 급속도로 감소하므로, 장래의 에너지 보급에 있어서 심각한 문제가 아닐 수 없다.

이러한 문제점을 인식하고 대체에너지 자원의 개발이 절실히 요구되고 있는데, 대체에너지 개발에는 원자력에너지, 태양에너지 및 풍력에너지 등, 여러 가지가 있으나, 원자력에너지는 위험성과 핵연료의 뒤처리 문제가 어렵고, 태양에너지와 풍력에너지는 기후에 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.

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⁽¹⁾⁻⁽³⁾.

R.L. McCormick 등⁽⁴⁾은 자동차의 배기배출물에 대한 바이오디젤 혼합유의 영향에 대하여 연구하였고, C.Carratetto 등⁽⁵⁾은 보일러의 배기배출물에 대한 바이오디젤유의 영향에 대하여 연구하였다.

본 연구에서는 선박용 디젤기관에 실험실에서 직접제조한 바이오디젤연료와 디젤유를 섞은 혼합유를 사용하여 배기배출물 특성에 미치는 영향을 분석·고찰하고자 한다.

Table 1 Properties of test fuels

Item	Test fuels	
	Diesel fuel	BDF100
Flash point(PM, °C)	75°C	134°C
Specific gravity(15/4°C)	0.8342	0.8808
Kinematic Viscosity(cSt@40°C)	2.67	4.382
Sulfur(%)	0.04	0
Water(%)	0	0.1396
Calorific value(MJ/kg)	42.8	36.79
Carbon(Wt.%)	85.83	77.26
Hydrogen(Wt.%)	13.82	12.96
Nitrogen(Wt.%)	0.16	0.08
Oxygen(Wt.%)	0	9.7

2. 실험

2.1 바이오디젤 연료의 제조

바이오디젤 연료를 제조하는 공정은 크게 축매를 사용하는 공정과 축매를 사용하지 않는 공정으로 나눈다.

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

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

글리세린 층을 바이오디젤 연료 층과 분리하기 위하여 반응 후 24시간 정도 상온에 방치하고, 바이오디젤 연료층인 상부층을 따라내었다. 또 그것을 증류장치에서 가열하였으며, 약 150°C 이전까

지는 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.

2.2 실험장치

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

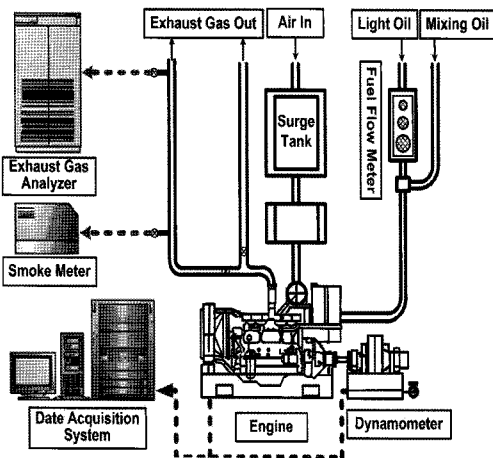


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

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 측정하였고, 연소실의 압력측정을 위하여 첫 번째 실

린더에 압전식(Piezo-electric type) 압력변환기를 설치하였다. 연료소비량의 계측은 고정도 연료 소비량계(FM-257)를 사용하였고, 흡입공기량의 계측은 오리피스식 공기 유량계(50MC2-4F)를 사용하였다. 그리고 기관의 흡기측에 서지탱크(Surge tank)를 설치하여 흡기의 흐름이 균일하여지도록 하였다. 또한 배기배출물의 측정에는 배기 분석기(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 제적으로 0%, 10%, 20%로 변화시키면서 실험하였다.

2개의 파라미터 중 1개를 고정하고 하나만을 변화시키면서 실험하였는데, 동일한 조건하에서 기관회전속도의 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, 연소실 압력상승률 선도, 열발생량 선도 등을 취득하였으며, 각 부위(배기관 입·출구, 냉각수 입·출구, 윤활유, 흡입공기)의 온도를 측정하였다.

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

3. 실험결과 및 고찰

3.1 연료소비율

바이오디젤 연료의 체적비율에 따른 연료소비율의 값을 Fig.2에 나타냈다. 그 결과를 분석해 보면, 1800rpm에서 일반 경유보다 BDF10은 평균 0.82% 증가되었고, 부하 25%에서 최대 1.09%

증가되었다. 그리고 BDF20에서는 평균 1.38% 증가되었고, 부하 25%에서 최대 1.73% 증가되었다.

기관이 동일한 출력을 발생시키기 위해서는 동일한 연소실 온도와 압력을 필요로 하는데, 경유에 비해서 바이오디젤 연료는 발열량이 16.3% 작으므로 바이오디젤 연료 첨가로 인해 연소실 온도와 압력의 저하가 발생하기 때문에 온도와 압력을 일정히 유지하기 위하여 더 많은 연료가 소비된다(5),(6)

그리고 연료의 연소 측면에서는 바이오디젤 연료에 함유되어있는 용존산소로 인하여, 연료와 산소가 접촉면적을 넓힘으로서 완전연소에 좀더 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 생각 된다.

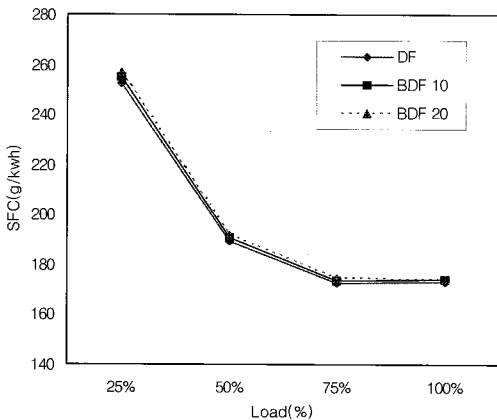


Fig. 2 Comparison of specific fuel consumption at various engine loads

3.2. 일산화탄소(CO)

CO의 배출량은 Fig. 3과 같으며, 바이오디젤 연료 함유량이 증가할수록 감소하는 경향이 있으며, 바이오디젤 연료 BDF10은 평균 4.63% 감소되었고, 무부하 영역에서 최대 6.73% 감소되었다. 그리고 BDF20에서는 평균 7.40% 감소되었고, 무부하 영역에서 최대 9.26% 감소되었다.

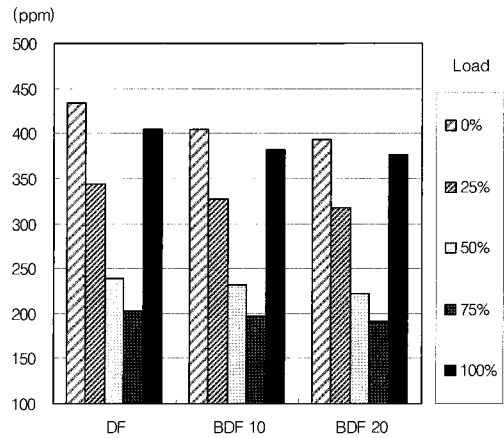


Fig. 3 CO emission characteristics at various engine loads

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 때문에 생긴다. 그러나 바이오디젤연료는 일반 경유보다 산소함유량이 약 9.7% 정도 많으므로, 연료중의 용존 산소가 연소를 촉진하여 CO배출물은 감소된다고 생각된다(7),(8).

3.3 질소산화물(NOx)

NOx의 배출량은 Fig. 4와 같으며, 바이오디젤 연료 함유량이 증가할수록 NOx의 배출량이 증가

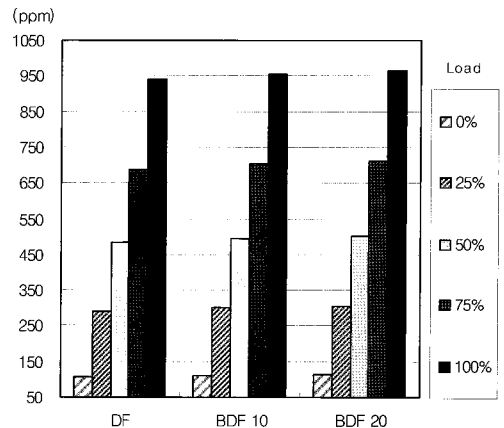


Fig. 4 NOx emission characteristics at various engine loads

하는 경향이 있고, BDF10은 평균 2.49% 증가되었으며, 무부하 영역에서 최대 3.77% 증가되었다. 그리고 BDF20에서는 평균 4.02% 증가되었고, 무부하 영역에서 최대 5.66% 증가되었다.

그 이유는 바이오디젤 연료에 함유된 약 9.7% 정도의 산소성분이 연소효율을 상승시켜 연소실내의 온도가 높게 되므로 NOx의 생성이 증가된 것으로 생각된다^[8].

3.4 매연(Soot)

매연의 배출량은 Fig. 5와 같고, 바이오디젤 연료의 비율이 증가할수록 약간 감소하는 경향이 나타났으며, BDF10은 평균 7.75% 감소되었고, 부하 50%영역에서 최대 10.20% 감소되었다. 그리고 BDF20에서는 평균 12.54% 감소되었고, 부하 50%영역에서 최대 15.40% 감소되었다.

매연의 생성은 분무중심에서 연료에 대한 산소의 농도가 낮고, 확산연소 동안 연료의 과농영역이 많을수록 많이 발생된다.

따라서 매연생성이 감소된 이유는 바이오디젤 연료의 사용에 따라 산소 함유량이 많은 연료가 과농한 연료 중심부의 산소 농도를 증가시켜 연료와 공기의 혼합이 촉진되어 양호한 연소가 일어나기 때문으로 생각된다^[9].

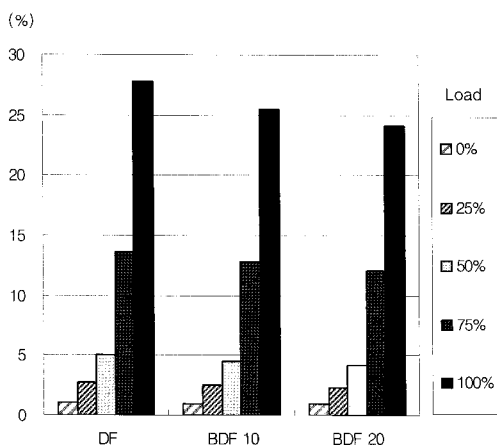


Fig. 5 Soot emission characteristics at various engine loads

4. 결 론

화석연료는 매장량이 한정되어 앞으로 일정기간 동안에만 사용할 수 있으며, 연소시에 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 대두유로부터 직접 제조하여, 경유와 섞은 혼합유(BDF10 및 BDF20)를 선박용 직접분사식 4행정 디젤기관으로 실험한 결과, 연료소비율과 배기배출물 특성에 미치는 영향은 다음과 같다.

1. 연료소비율은 바이오디젤 혼합유가 경유에 비하여 미소량 증가되었는데, BDF10에서 평균 +0.82%, BDF20에서는 평균 +1.38%로 바이오디젤 혼합비의 증가율보다 연료소비 증가율이 약간 감소되었다.

2. 일산화탄소(CO)와 매연(Soot)의 배출량은 바이오디젤 혼합유가 경유에 비하여 감소되었는데, 일산화탄소(CO)의 경우 BDF10에서 평균 -4.63%, BDF20에서는 평균 -7.40%로 상당히 감소되었고, 매연(Soot)의 경우 BDF10에서 평균 -7.75%, BDF20에서는 평균 -12.54%로 현저히 감소되어 대기오염 저감에 효과적이다.

3. 질소산화물(NOx)의 배출량은 바이오디젤 혼합유가 경유에 비하여 약간 증가되었는데, BDF10에서 평균 +2.49%, BDF20에서는 평균 +4.02% 증가되어 질소산화물의 저감장치가 필요하다.

참고문헌

- [1] L. G. Schumacher, S. C. Borgelt and W. G. Hires, "Soydiesel/Biodiesel Blend Research", SAE paper, 96-6523, 1993.
- [2] Kyle W. Scholl and Spencer C. Sorenson, "Combustion of Soybean Oil Methyl Ester in a Direct Injection Diesel Engine", SAE paper, 930934, 1993.

- [3] Ziejewski, M. Kaufman, K.R. Schwab, and E. H. Pryde, "Diesel Engine Evaluation of an Nonionic Sunflower Oil-aqueous Ethanol Microemulsion", *Journal of the American Oil Chemists*, 1993.
- [4] R.L. McCormick, A. Williams, J. Ireland, M. Brimhall and R.R. Hayes "Effects of Biodiesel Blends on Vehicle Emissions", Milestone Report NREL/MP-540-40554, 2006.
- [5] C. Carraretto, A. Macor, A. Mirandola, A. Stoppato and S. Tonon, "Biodiesel as alternative fuel: Experimental analysis and energetic evaluations", *Energy* 29 paper, 2195-2211, 2004.
- [6] D. L. Reece and C. L. Peterson, "A Report on the Idaho on-road Vehicle Test with RME and Neat Rapeseed Oil as an Alternative to Diesel Fuel", SAE paper, 93-5018, 1993.
- [7] C.D. Rakopoulos, K.A. Antonopoulos, D.C. Rakopoulos, D.T. Hountalas and E.G. Giakoumis, "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* 47, paper, 3272-3287, 2006.
- [8] Aaron Williams, Robert L. McCormick, R. Robert Hayes and John Ireland, "Effect of Biodiesel Blends on Diesel Particulate Filter Performance", National Renewable Energy Laboratory, 2006.
- [9] U.S.A, Department of Energy Efficiency and Renewable Energy, "Biodiesel Handling and use Guidelines", 2006.

저 자 소 개



임재근(林載根)

1950년 4월생. 1972년 한국해 양대학교 기관학과 졸업, 1983년 조선대학교 기계공학과 졸업(공학석사), 1993년 동대학교 기계공학과 졸업(공학박사), 현재 군산대학교 동력기계시스템공학전공 교수.



최순열(崔順烈)

1947년 6월생. 1986년 서울산업대학교 졸업, 1993년 조선대학교대학원 졸업(공학석사), 1999년 한국해양대학교 졸업(공학박사), 현재 군산대학교 동력기계시스템공학전공 교수.



조상곤(趙相坤)

1965년 5월생. 2000년 군산대학교 대학원 기관공학전공 졸업(공학석사), 군산대학교 대학원 기관공학전공 졸업(공학박사), 현재 군산대학교직원.