

직접분사식 디젤기관에서 디젤유와 바이오디젤 혼합유의 연소특성에 대한 비교 연구 (대두유를 중심으로)

Comparative Analysis on Combustion Characteristics of Diesel Oil and Biodiesel Blends in DI Diesel Engine (Using Soybean Oil)

임재근 · 최순열 · 조상곤

J. K. Lim, S. Y. Choi and S. G. Cho

(접수일 : 2009년 6월 9일, 수정일 : 2009년 9월 24일, 채택확정 : 2009년 10월 13일)

Key Words : Cylinder Pressure(실린더압력), Rate of Pressure Rise(압력상승율), Specific Fuel Consumption (SFC)(연료소비율), Rate of Heat Release(열발생율), Biodiesel Fuel(바이오디젤유), BDF10, BDF20(바이오디젤 혼합유), BDF100(바이오디젤유 100%), Soot(매연)

Abstract : Recently, we have a lot interest in a sudden rise of oil prices and a change weather for the earth warming, so, development of new alternative fuels need in order to spare fossil fuel and 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 combustion characteristics between neat diesel oil and biodiesel blends(10 vol.% biodiesel and 20 vol.% biodiesel) were tested using four stroke, direct injection diesel engine, especially this biodiesel was produced from soybean oil at our laboratory. This analysis showed that cylinder pressures, the rate of pressure rises and the rate of heat releases were decreased as the blending ratios of biodiesel to diesel oil increased because of lower heating value of biodiesel in spite of increased oxygen content in biodiesel.

1. 서 론

최근에 디젤기관의 연료로 사용되어온 석유에너지는 수요가 점차 증가하고, 가격은 폭등하며, 잔존 매장량은 급속도로 감소하므로, 장래의 에너지 보급에 있어서 매우 어려운 문제가 되고 있고, 유해한 배기배출물 때문에 지구환경이 심각하게 오염되고 있다.

이러한 문제점을 인식하고 대체에너지의 개발이 절실히 요구되고 있는데, 대체에너지 개발에는 원자력에너지, 태양에너지 및 풍력에너지 등 여러 가지가 있으나 원자력에너지는 위험성과 핵연료의 뒤처

리 문제가 어렵고, 태양에너지와 풍력에너지는 기후에 영향을 많이 받으므로 보조설비를 갖추어야 하는 점 때문에 제약을 많이 받고 있다.

뿐만 아니라, 유엔 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 배출량이 1970년부터 2004년 사이에 약 70% 증가 되었으므로 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, 디젤경유와 특성이 같아서 현재의 디젤기관을 변형시키지 않고 그대로 사용할 수 있으며, 대기로 방출된 이산화탄소(CO₂)

임재근(책임저자) : 군산대학교 동력기계시스템공학과
E-mail : jklim@kunsan.ac.kr, Tel : 063-469-1845
최순열 : 군산대학교 동력기계시스템공학과
조상곤 : 군산대학교

의 75%가 식물을 재배하는 과정에서 소비되는 것으로 간주하는 유엔기후변화 협약에 따라 이산화탄소를 대폭적으로 저감시킬 수 있는 효과가 있어 그의 연구 개발에 초점이 모아지고 있다¹⁻³⁾. Lim 등⁴⁻⁶⁾은 배기배출물에 대한 바이오디젤 혼합유의 영향에 대하여 연구하였고, Ming Zheng 등⁷⁾은 연소특성에 대한 바이오디젤유의 영향에 대하여 연구하였다.

본 연구에서는 순수한 디젤유와 그리고 실험실에서 직접 제조한 바이오디젤유와 디젤유를 섞은 혼합유를 직접분사식 디젤기관에 사용하여 연소특성에 미치는 영향을 비교 분석하고자 한다.

2. 실험

2.1 바이오디젤유의 제조

바이오디젤유를 제조하는 공정은 크게 촉매를 사용하는 공정과 촉매를 사용하지 않는 공정으로 나눈다.

촉매를 사용하는 공정의 장점은 상온 및 대기압과 유사한 조건에서 제품을 생산할 수 있는 장점을 갖고 있지만, 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 바이오디젤유의 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.

글리세린 층을 바이오디젤유 층과 분리하기 위하여 반응 후 24시간 정도 상온에 방치하고, 바이오디젤유층인 상부 층을 따라내었다. 또 그것을 증류장치에서 가열하였으며, 약 150°C 이전까지는 미반응 메탄올이 제거되었고, 바이오디젤유는 340~420°C 구간에서 증류되었다. 증류된 바이오디젤유는 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.

기관의 출력은 와 전류형 전기동력계를 사용하여 측정하였고, 연소실의 압력측정을 위하여 첫 번째

실린더에 압전식(Piezo-electric type) 압력변환기를 설치하였다. 연료소비량의 계측은 고정도 연료소비량계(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 배기배출물은 배기분석기(Signal emirak rag4873)와 광투과식(MEXA-130S) 및 Bosch식 매연측정기를 사용하였다.

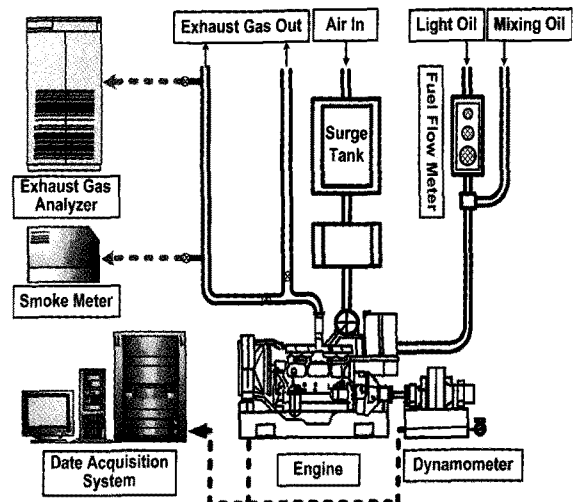


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

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 |
| Cetane number | 51.4 | 57.9 |

2.3 실험방법

본 연구에서는 기관회전속도 1800rpm의 경우에 대하여, 기관부하를 0%에서 100%까지 25% 간격으

로, 바이오디젤유의 혼합비율을 체적으로 0%, 10%, 20%로 변화시키면서 실험하였다.

2개의 파라미터 중 1개를 고정하고 하나만을 변화시키면서 실험하였는데, 동일한 조건하에서 기관 회전수의 변동율은 $\pm 0.5\%$ 이었고, 기관부하의 변동율은 $\pm 1.5\%$ 이하였다.

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 배기배출물을 측정하였으며, 동력계는 표준중량(5kg)의 추를 사용하여 압축·인장의 보정실험을 하여 정확한 토오크 값을 확인한 후 동력을 측정하였다.

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 / 1800rpm) |
| Compression ratio | 17 : 1 |
| Fuel Injection Timing | BTDC 18°CA |
| Firing Order | 1 - 3 - 4 - 2 |

3. 실험결과 및 고찰

3.1 연소실 압력 및 압력상승률

Fig. 2는 크랭크 각도에 대한 실린더 압력과 압력상승율을 나타낸 선도이다. 바이오디젤유 함유량이 BDF10, BDF20으로 증가할수록 실린더압력과 압력상승율이 거의 비슷한 경향을 보였으며, 그들의 최고값은 약간 감소되었는데, 실린더압력에 있어서는 BDF10이 최대 -1.39% 감소되었고, BDF20은 최대 -2.82% 감소되었다. 그리고 압력상승율은 BDF10에서 최대 -6.56% 감소되었고, BDF20에서는 최대

-12.07% 감소되었다.

그 이유는 바이오디젤유가 약 9.7%의 함유산소를 가지고 있어서 양호한 연소가 가능하나, 그 보다는 약 14%나 적은 발열량의 영향이 더욱 크게 작용하기 때문으로 생각된다^{8,9)}.

그리고 바이오디젤유의 함유량이 많을수록 착화시기가 약간 빠르게 나타났는데, 이것은 바이오디젤유가 순수 디젤유보다 세탄가가 커서 착화성이 양호하여 착화지연기간이 짧아지기 때문으로 생각된다.

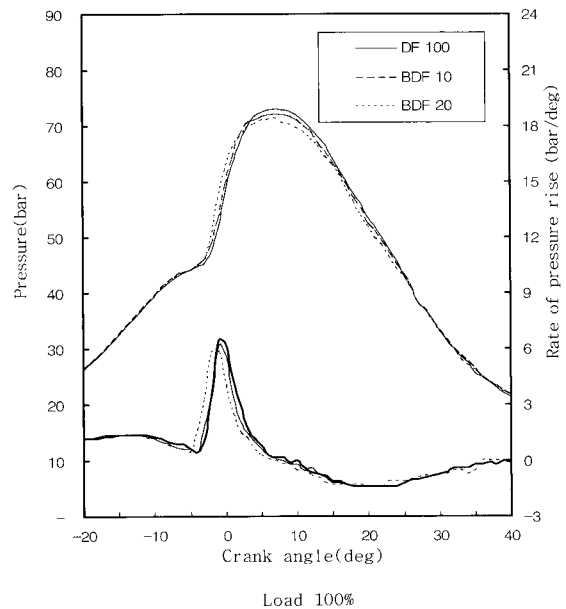


Fig. 2 Cylinder pressure and Rate of pressure rise of various biodiesel blends at 1800rpm

3.2 열발생률

Fig. 3은 크랭크각도에 대한 열발생률 선도이며, 열발생률이 음의 값을 가질 수 있는데, 이때는 가스로부터 연소실로 열이 전달되는 경우이고, 연소의 시작점은 열방출율이 0이 될 때로 누적 열방출량이 최소값이 될 때를 의미한다.

바이오디젤유 함유량이 BDF10과 BDF20으로 증가할수록 열발생률은 비슷한 경향으로 약간 감소되었으며, BDF10에서는 최대 -3.70% 감소되었고, BDF20에서는 최대 -7.69% 감소되었다.

그 이유는 바이오디젤유가 순수한 디젤유보다 발열량이 14% 작으므로 연소실의 온도와 압력저하가 발생하기 때문이며, 바이오디젤 연료에 함유된 약 9.7% 정도의 산소성분이 연소효율을 약간 상승시켜 열발생율이 증가된다 하더라도 발열량 차이의 영향보다 미미하여 전체적으로는 약간 감소된 것으로

생각된다⁹⁾.

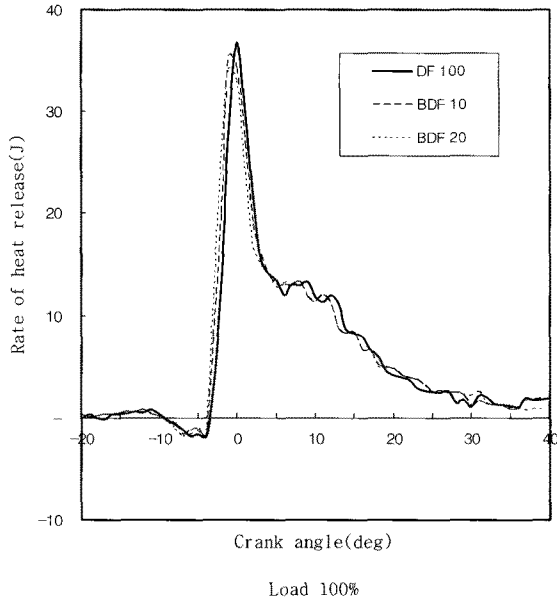


Fig. 3 Rate of heat release of various biodiesel blends at 1800rpm

3.3 P-V 선도

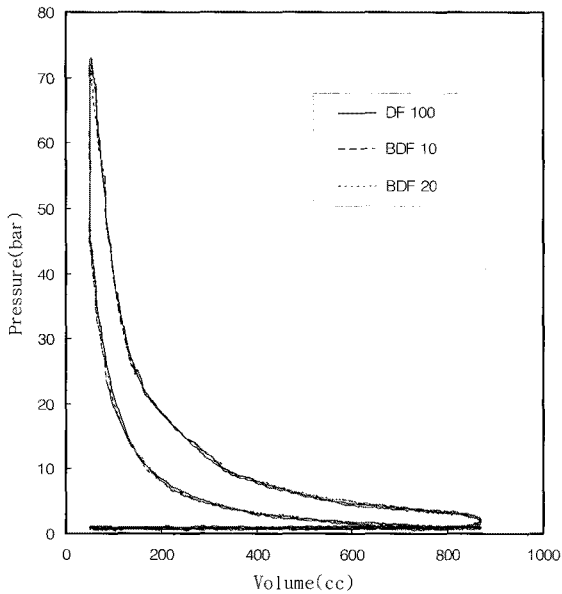


Fig. 4 Pressure-volume diagrams of various biodiesel blends at 1800rpm

Fig. 4는 실린더내의 압력과 체적의 변화를 나타낸 P-V 선도 이다. 그림에서 보면 디젤유와 바이오디젤 혼합유가 모두 비슷한 형태를 보이고 있으나, 디젤유의 폭발압력이 바이오디젤혼합유의 경우보다 높게 나타났으며, 최고압력을 발생하는 크랭크 각은

바이오디젤 혼합유의 경우가 디젤유의 경우보다 하사점 쪽으로 이동함을 알 수 있다.

또 연소구간에서 기울기가 클수록 빠른 연소형태를 나타내는데, 디젤유의 기울기가 바이오디젤혼합유의 기울기보다 작으므로, 바이오디젤혼합유의 연소가 급격하게 일어남을 알 수 있다.

이것은 바이오디젤유가 디젤유보다 세탄가가 높아 착화성이 양호하고 용존산소량이 많아 연소기간이 빠르고 짧기 때문으로 생각된다.

3.4 연료소비율

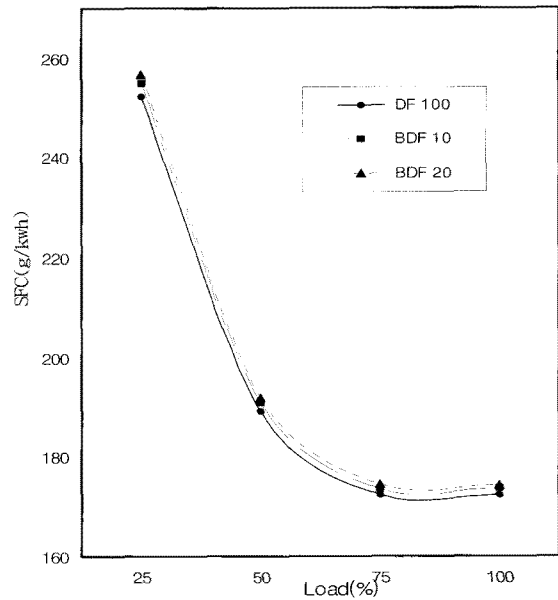


Fig. 5 Specific fuel consumption of various biodiesel blends at 1800rpm

바이오디젤유의 체적비율에 따른 연료소비율의 값을 Fig. 5에 나타냈다. 그 결과를 분석해 보면, 바이오디젤혼합유의 소비율이 일반 경유보다 약간 증가되었는데, 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 14% 작으므로 바이오디젤유의 첨가로 인해 연소실 온도와 압력의 저하가 발생하기 때문에 온도와 압력을 일정히 유지하기 위하여 더 많은 연료가 소비된다^{5,6,10~12)}.

그리고 연료의 연소 측면에서는 바이오디젤유에 함유되어있는 용존산소로 인하여, 연료와 산소가 접

측면적을 넓힘으로서 완전연소에 좀더 가깝게 할 수 있기 때문에, 경유만을 연소시켰을 경우에 비하여 약간 연료소비율이 감소된다고 판단할 수도 있으나, 그 영향이 발열량의 영향보다 미미하기 때문에 연료소비율이 종합적으로 증가되었다고 생각된다.

3.5 매연

매연의 배출량은 Fig. 6과 같고, 바이오디젤유의 비율이 증가할수록 경유보다 더욱 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^{13,14)}.

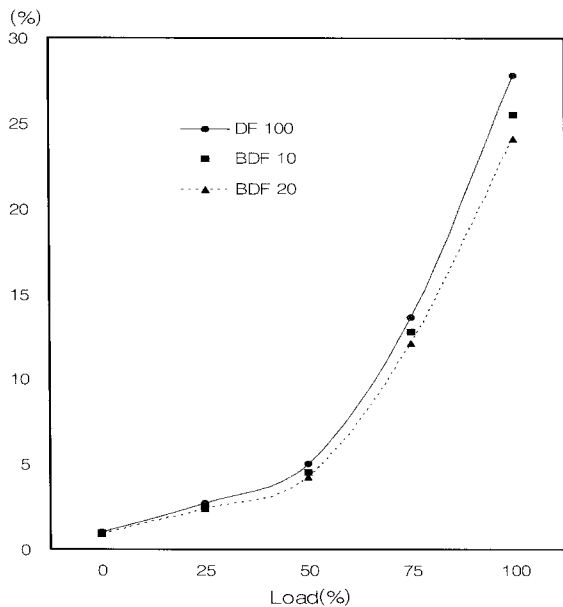


Fig. 6 Soot emission characteristics of various biodiesel blends at 1800rpm

4. 결 론

최근 화석연료의 매장량이 한정되어 가격이 폭등하고 있으며, 지구온난화로 환경오염문제가 세계적인 관심사로 대두되면서 대체에너지의 연구 개발이

절실히 요구되고 있다.

따라서 계속해서 생산할 수 있으며 유해물질도 적게 배출되는 바이오디젤유의 연소특성을 명확히 규명하기 위하여 디젤유와 바이오디젤혼합유(BDF10 및 BDF20)를 직접분사식 4행정 디젤기관으로 실험하여 비교 연구한 결과는 다음과 같다.

1. 실린더 압력과 압력상승율은 바이오디젤 혼합유가 경유에 비하여 감소되었는데, 실린더 압력은 BDF10의 경우 최대 -1.39%, BDF20에서는 최대 -2.82% 감소되었고, 압력상승율의 경우 BDF10에서 최대 -6.56%, BDF20에서는 최대 -12.07% 감소되었다.

2. 열발생율은 바이오디젤 혼합유가 경유에 비하여 약간 감소되었는데, BDF10에서 최대 -3.70%, BDF20에서는 최대 -7.69% 감소되었다.

3. 디젤유의 폭발압력이 바이오디젤 혼합유의 경우보다 약간 높게 나타났으며, 최고압력을 발생하는 크랭크 각은 바이오디젤 혼합유의 경우가 디젤유의 경우보다 하사점 쪽으로 약간 이동하였다.

4. 연료소비율은 바이오디젤 혼합유가 경유에 비하여 약간 증가되었는데, BDF10에서 평균 +0.82%, BDF20에서는 평균 +1.38% 증가되었다.

5. 매연(Soot)은 바이오디젤 혼합유가 경유에 비하여 저부하보다 고부하에서 현저히 감소되었는데, BDF10에서 평균 -7.75%, BDF20에서는 평균 -12.54% 감소되어 대기오염 저감에 효과적이다.

참고문헌

1. L. G. Schumacher, S. C. Borgelt and W. G. Hires, 1993, "Soydiesel/Biodiesel Blend Research", SAE paper, 96-6523.
2. Kyle W. Scholl and Spencer C. Sorenson, 1993, "Combustion of Soybean Oil Methyl Ester in a Direct Injection Diesel Engine", SAE paper, 930934.
3. Ziejewski et al., 1993, "Diesel Engine Evaluation of an Nonionic Sunflower Oil-aqueous Ethanol Microemulsion", Journal of the American Oil Chemists.
4. R. L. McCormick et al., A. Williams, J. Ireland, M. Brimhall and R.R. Hayes, 2006, "Effects of Biodiesel Blends on Vehicle Emissions", Milestone Report NREL/

MP-540-40554.

5. C. Carraretto, et al., 2004, "Biodiesel as alternative fuel: Experimental analysis and energetic evaluations", Energy 29 paper, 2195-2211.
6. Lim, J. K., Choi S. Y. and Cho S. G., 2008, "Effects of Biodiesel Fuel on Exhaust Emission Characteristics in Diesel Engine", 한국마린엔지니어링학회, 제32권 제1호.
7. Ming Zheng, et al., 2008, "Biodiesel engine performance and emissions in low temperature combustion", Fuel 87, pp. 714~722.
8. 윤승현외 4명, 2006, "분사조건에 따른 커먼레일 디젤엔진에서 바이오디젤의 연소특성", 한국자동차공학회, pp. 516~521.
9. Mustafa Canakci, 2007, "Combustion characteristics of turbocharged DI compression ignition engine fueled with petroleum diesel fuels and biodiesel", Bioresource Technology 98, pp. 1167-1175.
10. D. L. Reece 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", SAE paper, 93-5018.
11. C. D. Rakopoulos, et al., 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 47, paper, 3272~3287.
12. 장세호, 서정주, 2008, "직접분사식 디젤기관에서 바이오디젤 연료의 연소특성", 한국동력기계 공학회지, 제12권 제2호 pp. 12~17.
13. Aaron Williams et al., 2006, "Effect of Biodiesel Blends on Diesel Particulate Filter Performance", National Renewable Energy Laboratory.
14. USA Department of Energy Efficiency and Renewable Energy, 2006, "Biodiesel Handling and use Guidelines".