

간접분사식 디젤기관에서 바이오디젤연료의 연소 특성

유 경 현^{*1)} · 윤 용 진¹⁾ · 오 영 택²⁾

전북대학교 대학원 기계공학과¹⁾ · 전북대학교 기계공학과²⁾

The Combustion Characteristics of Biodiesel Fuel as an Alternative Fuel for IDI Diesel Engine

Kyunghyun Ryu^{*1)} · Yoongjin Yun¹⁾ · Youngtaig Oh²⁾

¹⁾Department of Mechanical Engineering, Graduate School, Chonbuk National University, Jeollabuk-do 561-756, Korea

²⁾Department of Mechanical Engineering, Chonbuk National University, Jeollabuk-do 561-756, Korea

(Received 25 July 2002 / Accepted 28 October 2002)

Abstract : Recently, lots of researchers have been attracted to develop various alternative fuels and to use renewable fuels as a solution of environmental problems from automobile. The use of biodiesel fuel is an effective way of substituting diesel fuel in the long run. It is a domestically produced, renewable fuel that can be manufactured from vegetable oils, used vegetable oils, or animal fats.

In this study, the usability of biodiesel fuel derived from rice bran oil, one of the oxygenated fuels as an alternative fuel for diesel engines was investigated in IDI diesel engine. Emissions were characterized with neat biodiesel fuel and with a blend of biodiesel fuel and conventional diesel fuel. Since the biodiesel fuel includes oxygen of about 11%, it could influence the combustion process strongly. So, the use of biodiesel fuel resulted in lower emissions of carbon monoxide and smoke emissions with some increase in emissions of oxides of nitrogen. It is concluded that biodiesel fuel can be utilized effectively as a renewable fuel for IDI diesel engine.

Key words : Alternative fuel(대체연료), Biodiesel fuel(바이오디젤연료), Smoke(매연), Exhaust gas emission(배기가스배출물), Oxygenated fuel(함산소연료)

1. 서론

최근 자동차 연료로 사용되는 석유가격의 상승과 그 유한성이 거론되고, 자동차의 배기가스로 인해 대도시 지역의 스모그증가 등의 심각한 대기 환경 오염 현상이 나타나고 있다. 따라서, 많은 연구자들이 이런 제반 문제들을 해결하기 위한 방안으로 저공해 대체연료와 재생연료에 관한 연구들을 수행하여 왔으며, 일부는 실용화 단계에 다가서고 있는 실

정이다. 그 중 열효율과 출력은 물론 배기가스 측면에서 우수한 디젤기관의 연료로서 식물유에 관한 많은 연구들이 진행되어 왔다.¹⁻²⁾

바이오디젤유는 농업생산물인 식물유나 폐식용유로부터 제조되는 재생가능한 연료로서 현재 사용하고 있는 디젤기관의 개조없이 직접 사용가능하며 사용하기 안전한 특징을 갖고 있다. 이미 미국을 비롯한 선진국에서는 바이오디젤유에 대한 많은 연구가 수행되어 바이오디젤유를 사용할 수 있는 입법을 추진하여 상업적인 연료로 사용하고 있는 실정이다.²⁾

* To whom correspondence should be addressed.
khryu87@hotmail.com

바이오디젤유에 관한 연구로는 Ziejewski 등,³⁾ Scholl 등¹⁾ 및 Schumacher 등^{4,5)}은 해바라기, 콩기름 등의 에멀전 및 에스테르화한 연료를 사용할 경우 경유와 비교하여 매연을 감소시킬 수 있다고 보고하였으며, Reece 등⁶⁾은 유채유 20%를 경유 80%와 혼합하여 사용할 경우에도 매연을 감소시킬 수 있다고 보고하였다. Marshall 등⁷⁾은 동물성 지방(수지)을 연료로 사용할 경우 1-7% 정도의 출력의 감소를 보고하기도 하였으나, Feldman 등⁸⁾은 3기통 직분식 디젤기관에서 분사시기를 조정함에 따라 바이오디젤유를 사용할 경우 출력이 증가되었다고 보고했다.

국내의 경우 폐식용유를 비롯한 식물유 등에 대한 연구^{9,10)}를 통하여 실험용 단기통기관을 이용하여 식물유가 디젤기관의 대체연료로서 이용 가능성이 있음을 제시하기도 하였으나, 아직 국내에서는 간접분사식 디젤기관에 있어서 싼겨에서 추출한 바이오디젤유에 대한 연구결과 연구가 미비한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 국내 생산이 지속적으로 가능하며 경제성이 충분한 싼겨에서 추출한 현미유를 기본으로 한 바이오디젤유를 실제 자동차용 기관으로 사용하고 있는 대기통 간접분사식 디젤기관에 적용할 경우 바이오디젤유의 혼합량 및 운전조건에 따라 바이오디젤유가 간접분사식 디젤기관에 미치는 영향을 기관성능 및 배기가스 배출 특성은 물론 연소특성면에서 경유를 사용한 경우와 비교·분석하여 실용화를 위한 기초자료로 사용하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치 및 연료

실험에 사용된 기관은 수냉식, 4기통, 4행정, 간접분사식 디젤기관이며, 시동모터에 의해서 시동이 되고 기관부하와 기관 회전속도는 엔진 다이내모메타에 의해 임의로 조정할 수 있도록 되었다. 실험에 사용된 기관에 대한 주요 사양을 Table 1에 각각 나타내었다.

Table 2는 실험에 사용된 연료의 물성치를 나타낸

Table 1 The specification of test engine

Item	Specification
Engine model	HD D4BA
Bore × Stroke	91.1 × 95 (mm)
Displacement	2476 (cm ³)
Compression ratio	21
Combustion chamber	Pre-combustion
Injection timing	Variable
Coolant temperature	80 ± 2 °C

Table 2 Properties of test fuels

Item	Diesel fuel	Biodiesel fuel
Gravity(15/4 °C)	0.8373	0.8796
Viscosity(50 °C, cSt)	3.0	4.2
Lower heating value(MJ/kg)	45.88	39.163
Cetane number	51.4	57.9
Carbon content(wt.%)	85.83	76.22
Hydrogen content(wt.%)	13.82	12.38
Nitrogen content(wt.%)	0.16	0.14
Oxygen content(wt.%)	0	11.26

것으로, 바이오디젤유는 경유에 비해 낮은 발열량을 갖고 있지만, 경유보다 세탄가가 높으면서 인화점도 높아 취급하기 용이한 특성을 갖고 있다. 또한, 바이오디젤유는 경유보다 탄소함량이 약 10% 정도 적으며, 경유가 갖고 있지 않은 산소를 약 11% 함유하고 있다.

2.2 실험 방법

실험은 디젤기관에 바이오디젤유를 사용할 경우, 운전조건에 따른 기관성능 및 배기가스 배출특성을 파악하고 그 원인을 고찰해 보고자 한다. 실험에 사용된 연료는 상용연료인 경유를 기본으로 하고, 경유에 체적분율로 바이오디젤유를 20%, 50% 혼합한 혼합연료와 순수 바이오디젤유 100%로서 각 기관 회전속도에서 무부하, 25% 부하, 50% 부하, 75% 부하, 90% 부하 및 전부하 상태에서 기관성능 및 배기가스 배출 특성을 비교 실험하였다. 실험조건이 변경될 때마다 냉각수 온도를 80 ± 2 °C로 일정하게 유지하였으며, 실험이 끝난 후 연료필터를 교체하고 연료공급라인을 정비하여, 전 실험이 다음 실험에 영향을 미치지 않도록 충분한 시간동안 기관을 운전한 후 실험을 실시하였다.

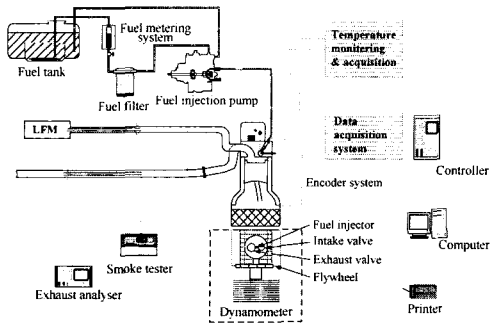


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

바이오디젤유가 배기가스 배출특성에 미치는 영향을 파악하기 위하여, 매연은 배기다기관으로부터 300mm 하류에 설치된 Bosch 타입의 매연측정기 (HBN 1500)를 이용하여 측정하였으며, NO_x, CO, 및 CO₂는 전기화학적셀 방식의 배기가스분석기 (Greenline MK 2)를 이용하여 측정하였다. 또한, 샘플링 중간에 필터를 장착하고 매연 입자를 여과한 후 측정하였으며, 실험조건의 변화에 따라 새로운 필터로 교체하여 샘플링 값의 측정오차를 줄였다. Fig. 1은 실험장치의 개략도를 나타낸 것이다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 기관 회전속도 변화에 따른 기관 성능 및 배기 배출물

Fig. 2는 전부하(100% load)시 기관 회전속도 변화에 따른 제동 토크, 출력, 에너지소비율 및 기관 소음의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 전 회전속도 범위에 걸쳐 토크, 출력 및 소음은 바이오디젤유의 발열량이 경유보다 작음에도 불구하고 경유의 경우와 거의 비슷한 경향을 보이고 있다. 에너지소비율은 경유를 사용한 경우보다 바이오디젤유를 혼합하여 사용하였을 때 혼합량이 증가할수록 점점 감소함을 알 수 있다. 이는 바이오디젤유가 연료 자체에 산소를 함유하고 있어 활발한 연소를 촉진시켜 연소 효율의 향상에 기인하였기 때문으로 생각된다.

Fig. 3은 Fig. 2와 같은 조건에서 실린더내의 압력, 압력상승율 및 열발생율을 나타낸 것으로, 발열량의 차이가 있음에도 불구하고 Fig. 2의 결과에 대한

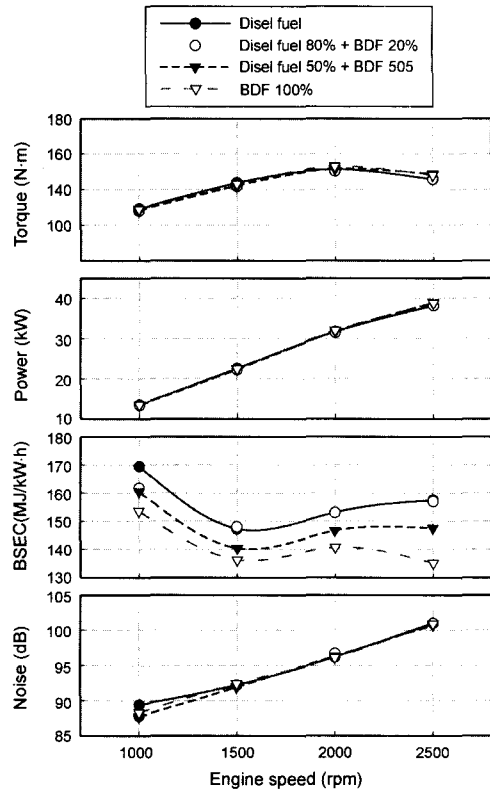


Fig. 2 Engine performance versus engine speed at engine load 100%

원인을 조사하기 위한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 바이오디젤유의 혼합량이 증가함에 따라 열발생 개시시기가 점점 진각되었음을 알 수 있는데, 이는 경유보다 바이오디젤유의 세탄가가 더 높기 때문에 착화지연기간이 단축되었기 때문으로 분석된다.

또한, 연소후반부에는 연소압력의 피크가 바이오디젤유의 혼합량이 증가함에 따라 커지고 열발생율이 일찍 감소하여 전체적인 연소기간이 단축됨을 알 수 있는데, 이는 바이오디젤유가 함유하고 있는 산소가 연소 후반부에 연소를 활발히 촉진시켰기 때문으로 분석되며, 이로 인하여 Fig. 2에서 바이오디젤유의 발열량이 작음에도 불구하고 토크 및 출력이 경유의 것과 비슷하게 나타나고, 에너지소비율이 감소된 것으로 분석된다.

Fig. 4는 Fig. 2와 같은 실험 조건의 경우 배기가스 배출특성을 나타낸 것이다. NO_x의 경우 직분식 디젤기관^{11,12)}과는 달리 전체적으로 바이오디젤유를

간접분사식 디젤기관에서 바이오디젤연료의 연소 특성

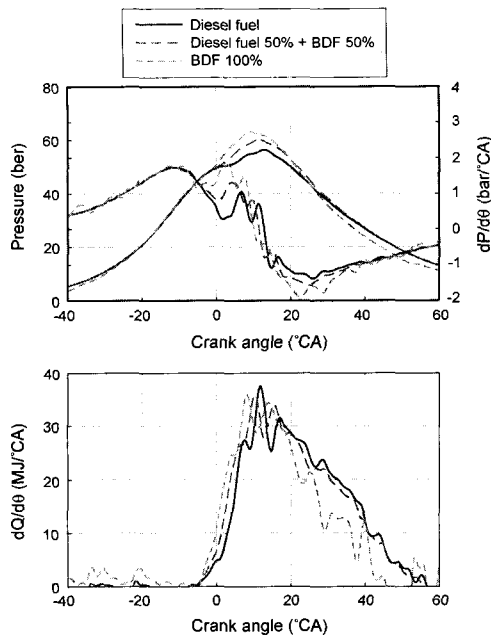


Fig. 3 Pressure, $dP/d\theta$, and $dQ/d\theta$ at engine speed 2500rpm and load 100%

사용한 경우 경유를 사용한 경우보다 약간 증가함을 알 수 있으나, 바이오디젤유의 혼합량에 따라서는 뚜렷한 경향을 나타내지는 않았다. 이는 직분식 디젤기관¹¹⁻¹²⁾보다 예연소실식 디젤기관에서는 예 혼합연소에 의한 연소실내 온도가 연료에 덜 민감하기 때문에 나타난 것으로 분석된다.

매연, CO, 그리고 CO₂의 경우, 전 회전속도에서 바이오디젤유를 사용할 경우가 경유를 사용한 경우보다 감소함을 알 수 있으며, 바이오디젤유의 혼합량이 증가함에 따라 감소폭도 증가하여 순수 바이오디젤유의 경우에는 기관 회전속도 2500rpm에서 경유를 사용한 경우보다 각각 약 34%, 70%, 그리고 6% 정도 감소함을 알 수 있다. 이는 바이오디젤유가 갖고 있는 산소가 매연이 많이 발생하는 연소후반부에 더 활발한 연소를 촉진시켰기 때문으로 생각된다.

Fig. 5는 바이오디젤유의 함유량에 따라서 NOx와 매연의 배출특성으로 조사하기 위하여 Fig. 4의 내용을 재정리한 것으로, 바이오디젤유의 함유량이 증가함에 따라 매연은 점점 감소함을 알 수 있고 NOx는 기관 회전속도 1000rpm의 경우에만 약간 증

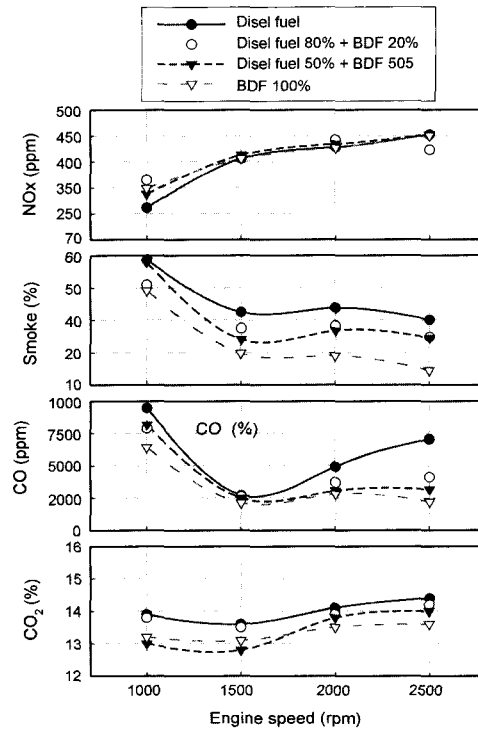


Fig. 4 Exhaust emissions versus engine speed at engine load 100%

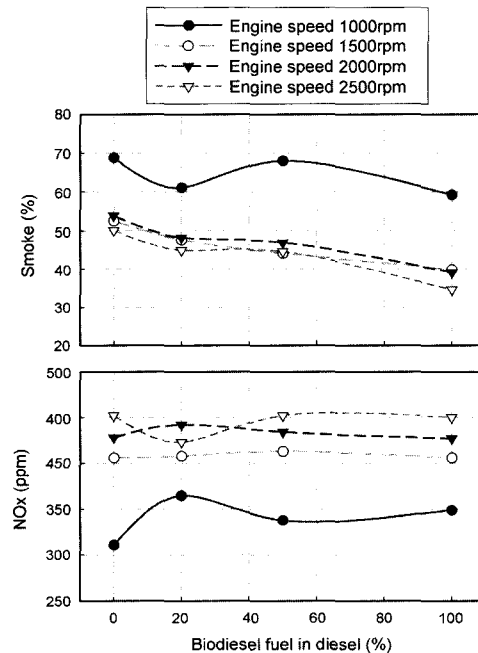


Fig. 5 Smoke and NOx versus BDF content in diesel fuel at engine load 100%

가하는 특성을 보이고 있어 매연의 저감폭이 크고 NOx의 증가량이 큰 직분식 디젤기관에서의 경우^{11,12)}와는 다른 경향을 보이고 있다. 또한, 기관회전속도가 증가함에 따라 모든 연료에 있어서 매연은 감소하고 NOx의 경우 증가하고 있음을 알 수 있으며, 연소실내의 온도가 가장 낮은 1000rpm에서 매연은 가장 많이, NOx는 가장 적게 배출되고 있어 기관회전속도에 있어서는 전형적인 매연과 NOx의 상반관계를 보이고 있음을 알 수 있다.

3.2 부하변동에 따른 기관성능 및 배기 배출물

Fig. 6은 기관 회전속도 1500rpm에서 기관부하 변화에 따른 배기가스 배출 및 에너지소비율의 변화를 나타낸 것이다. NOx의 경우 전체적으로 기관부하가 증가함에 따라 증가하다가 중부하를 기점으로 감소하는 경향을 볼 수 있으며, 바이오디젤유의 혼합량이 증가함에 따라 NOx의 배출량

이 증가함을 알 수 있고, 중부하에서 그 차가 크게 나타났다.

매연의 경우는 기관부하가 증가함에 따라 전 연료에 있어서 배출량도 함께 증가하였으나 바이오디젤유를 사용한 경우 경유만을 사용한 경우보다 감소함을 알 수 있으며, 바이오디젤유의 함유량이 증가함에 따라 감소폭도 커짐을 알 수 있다. 또한, CO의 경우, 전체적으로 고부하에서 급격하게 증가함을 알 수 있으나, 바이오디젤유를 사용한 경우 CO의 배출량은 감소하였으며 바이오디젤유의 혼합량이 증가함에 따라 CO의 감소폭도 커졌다. 이는 바이오디젤유가 함유한 산소의 영향으로 완전연소를 촉진시켰기 때문으로 생각된다.

에너지소비율의 경우 전 기관부하에 있어서 바이오디젤유의 혼합량이 작은 20%의 경우에는 경유의 경우보다 약간 증가하거나 비슷한 경향을 나타냈으나, 바이오디젤유의 혼합량이 50%로 증가함에 따라 전 부하에서 경유보다 감소하였고, 바이오디젤유 100%인 경우에는 에너지소비율이 더 크게 개선되어짐을 알 수 있다. 이는 바이오디젤유 20%인 경우에는 연료속의 산소함량이 작아 연소를 활발하게 촉진시키지 못하였지만, 바이오디젤유의 혼합량이 더 증가함에 따라 연료속의 산소함량도 증가하여 Fig. 3에서 살펴본 것처럼 활발한 연소를 촉진시켰기 때문인 것으로 분석된다.

Fig. 7은 바이오디젤유의 혼합량과 기관 부하변화에 따른 매연과 NOx의 배출특성을 파악하기 위하여 Fig. 6의 내용을 재정리한 것이다. 매연의 경우 기관부하가 증가함에 따라 증가하여 고부하에서 가장 많이 배출함을 알 수 있으나, 바이오디젤유의 혼합량이 증가함에 따라서는 감소함을 알 수 있고, 순수 바이오디젤유를 사용할 경우에 고부하에서 24%의 감소율을 보이고 있음을 알 수 있어 고부하에서 효과적임을 알 수 있다.

그러나, NOx는 기관부하의 변화에 있어서 중부하인 50%와 75%부하에서 최대로 배출함을 알 수 있고, 바이오디젤유가 증가함에 따라서는 무부하시와 중부하시에만 증가하는 경향을 보이며 고부하에서는 경유의 경우와 비슷한 경향을 보이고 있음을 알 수 있다.

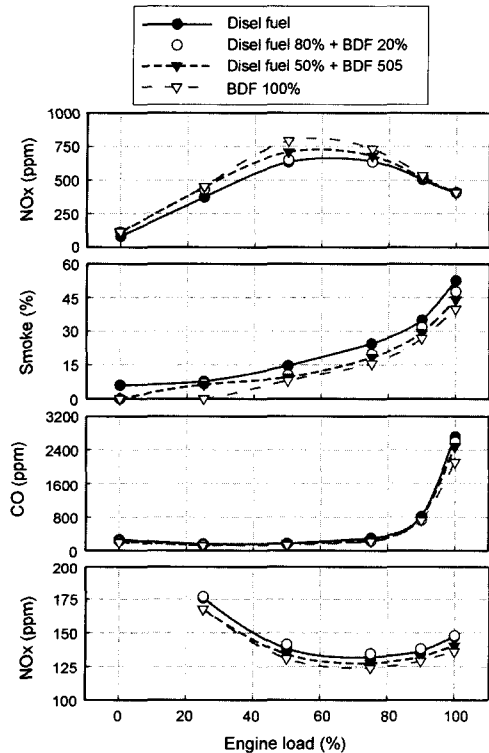


Fig. 6 Exhaust emissions and BSEC versus engine load at engine speed 1500rpm

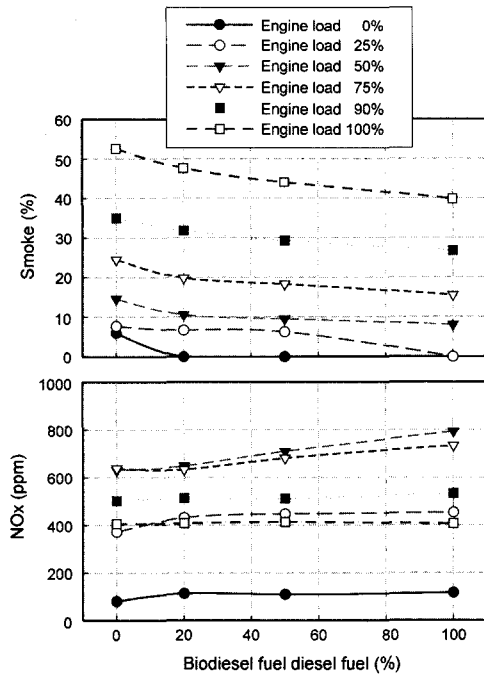


Fig. 7 Smoke and NOx versus BDF content in diesel fuel at engine speed 1500rpm

이처럼, 순수 바이오디젤유는 NOx의 큰 증가없이 고부하에서 매연을 크게 저감시킴을 알 수 있고, 고부하에서는 매연과 NOx의 상반관계가 없음을 알 수 있어 고부하에서 운전이 많이 이루어지는 디젤기관의 연료로 타당함을 알 수 있다.

Fig. 8은 각 기관 회전속도와 기관부하에서 바이오디젤유의 혼합량에 따른 NOx와 매연의 배출 특성을 경유를 사용한 경우에 대한 바이오디젤유를 사용한 경우의 비로 나타낸 것이다. NOx의 경우 전체적으로 바이오디젤유를 사용한 경우 약간 증가하는 경향을 보이나, 바이오디젤유의 혼합량에 상관없이 모든 회전속도의 저부하인 경우와 1000rpm 전 부하인 경우가 경유를 사용하는 경우보다 증가함을 알 수 있으며, 고회전·고부하에서는 경유의 경우와 비슷함을 알 수 있다. 또한, 매연의 경우 전체적으로 경유를 사용한 경우보다 감소하는 특성을 보이고 있으며, 바이오디젤유의 혼합량이 증가함에 따라 감소율이 증가함을 알 수 있고, 저부하영역에서보다 고부하영역에서 큰 폭으로 매연이 저감하고 있음을 알 수 있다.

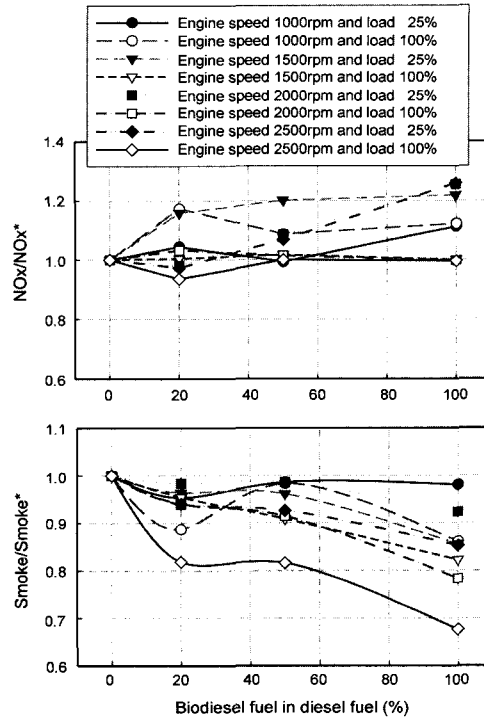


Fig. 8 Variation of Smoke and NOx versus BDF content in diesel fuel at various engine speed and load

4. 결론

디젤기관의 대체연료로서 바이오디젤유를 간접분사식 디젤기관에 적용하였을 경우 기관성능 및 배기가스 배출특성을 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 바이오디젤유에 대한 토크 및 출력은 경유의 경우와 비슷하였으며, 에너지소비율은 경유보다 감소함을 알 수 있었다.
- 2) 바이오디젤유의 혼합량이 증가함에 따라 매연과 CO가 크게 감소함을 알 수 있었으며, 특히, 고회전·고부하에서 순수 바이오디젤유의 경우 매연과 CO를 경유의 경우보다 약 34%와 70% 정도까지 저감시킬 수 있음을 알 수 있었다.
- 3) 바이오디젤유에 대한 NOx의 배출특성은 직분식 디젤기관과는 다르게 저·중부하에서 약 14~25%까지 증가하였으나, 고부하에서는 경유의 경우와 비슷함을 알 수 있었다.

이상에서와 같이 바이오디젤유를 간접분사식 디젤기관에 적용할 경우 NOx의 큰 증가없이 매연을

감소시킬 수 있는 저공해 대체연료로서 타당함을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 에너지관리공단에서 지원하는 대체에너지 실용화평가사업의 일환으로 수행되었습니다.

References

- 1) K. W. Scholl, S. C. Sorenson, "Combustion of Soybean Oil Methyl Ester in a Direct Injection Diesel Engine," SAE 930934, 1993.
- 2) <http://www.biodiesel.org/default2.htm>
- 3) M. Ziejewski, K. R. Kaufman, A. W. Schwab, E. H. Pryde, "Diesel Engine Evaluation of an Nonionic Sunflower Oil-aqueous Ethanol Micro-emulsion," Journal of the American Oil Chemists Society, Vol.61, No.10, pp.1620-1626, 1984.
- 4) L. G. Schumacher, W. G. Hires, S. C. Borgelt, "Fueling a Diesel Engine with Methylester Soybean Oil," Liquid Fuels From Renewable Resources-Proceedings of an Alternative Energy Conference, 1992.
- 5) L. G. Schumacher, S. C. Borgelt, W. G. Hires, "Soydiesel/Biodiesel Blend Research," ASAE 93-6523, 1993.
- 6) D. L. Reece, C. L. Peterson, "A Report on the Idaho on-road Vehicle Test with RME and Neat Rapeseed Oil as an Alternative to Diesel Fuel," ASAE 93-5018, 1993.
- 7) W. F. Marshall, "Effects of Methyl Esters of Tallow and Grease on Exhaust Emissions and Performance of a Cummins L10 Engine," Itt Research Institute, National Institute for Petroleum and Energy Research, 1993.
- 8) M. E. Feldman, C. L. Peterson, "Fuel Injector Timing and Pressure Optimization on a DI Diesel Engine for Operation on Biodiesel," Liquid Fuels From Renewable Resources-Proceeding of an Alternative Energy Conference. ASAE, 1992.
- 9) Y. T. Oh, "A Study on the Usability of Used Vegetable Oil as a Diesel Substitute in Diesel Engine," Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers, Vol.22, No.4, pp.481-488, 1998.
- 10) Y. T. Oh, "Vegetable Oils for Diesel Fuel Substitutes," Journal of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol.18, No.2, pp.72-92, 1996.
- 11) S. Alfuso, M. Auriemma, G. Police, M. V. Prati, "The Effect of Methyl-Ester of Rapeseed Oil on Combustion and Emissions of DI Diesel Engines," SAE 932801, 1993.
- 12) Y.-F. Lue, Y.-Y. Yeh, C.-H. Wu, "The Emission Characteristics of a Small D.I. Diesel Engine Using Biodiesel Blended Fuels," Journal of Environmental Science and Health, Vol.36, No.5, pp.845-859, 2001.
- 13) K. H. Ryu, Y. J. Yun, Y. T. Oh, "The Characteristics of Performance and Emissions of Agricultural Diesel Engine using Biodiesel Fuel," Proceeding of the KSAE Gwangju · Honam Branch 2002 Spring Conference, pp.9-16, 2002.
- 14) K. H. Ryu, Y. J. Yun, Y. T. Oh, "A Study on the Usability of Biodiesel Fuel as an Alternative Fuel for IDI Diesel Engine," Proceedings of the KSME 2002 Spring Annual Meeting, pp.2025-2030, 2002.