

바이오디젤유(미강유 에스테르)를 이용한 농업용 디젤기관의 연소 특성

유경현* · 윤용진** · 오영택*
(2002년 7월 22일 접수, 2002년 12월 26일 심사완료)

The Combustion Characteristics of Agricultural Diesel Engine using Biodiesel Fuel(Ester of Rice Bran Oil)

Kyunghyun Ryu, Yoongjin Yun, Youngtaig Oh

Key Words : Alternative Fuel(대체연료), Biodiesel Fuel(바이오디젤연료), Smoke(매연), Exhaust Gas Emission(배기가스배출물), Oxygenated Fuel(함산소연료)

Abstract

Biodiesel fuel as an alternative fuel for diesel engine has a great possibility to solve the problems such as air pollution. 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 as an alternative fuel for diesel engines was investigated in agricultural 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, carbon dioxide, and smoke emissions without any increase of oxides of nitrogen. It is concluded that biodiesel fuel can be utilized effectively as a renewable and an environmentally innocuous fuel for diesel engine.

1. 서론

디젤기관은 열효율과 출력이 높고, 다양한 연료를 사용할 수 있다는 장점 때문에 대형 선박을 비롯하여, 화물 자동차와 각종 농업용 기관에 많이 이용되어 왔다. 그러나, 최근 자동차 연료로 사용되는 석유가격의 상승과 그 유한성이 거론되고, 디젤기관 자동차의 배기가스로 인한 심각한 대기 환경오염 현상이 나타남에 따라 많은 연구자들이 이런 제반 문제들을 해결하기 위한 방안

으로 저공해 대체연료와 재생연료에 관한 연구들을 수행하여 왔다.^(1,2)

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

바이오디젤유에 관한 연구로 Ziejewski 등,⁽³⁾ Scholl 등⁽¹⁾ 및 Schumacher 등^(4,5)은 해바라기, 콩기름 등의 에멀전 및 에스테르화한 연료를 사용할 경우 경유와 비교하여 매연을 감소시킬 수 있다고 보고하였으며, Reece 등⁽⁶⁾은 유채유 20%를 경유 80%와 혼합하여 사용할 경우에도 매연을

† 책임저자, 회원, 전북대학교 기계공학과, 공학연구원

E-mail : ohyt@moak.chonbuk.ac.kr
TEL : (063)270-2323 FAX : (063)270-2315

* 회원, 전북대학교 기계공학과

** 회원, 전북대학교 대학원 기계공학과

감소시킬 수 있다고 보고하였다. Marshall 등⁽⁷⁾은 동물성 지방(수지)을 연료로 사용할 경우 1-7% 정도의 출력의 감소를 보고하기도 하였으나, Feldman 등⁽⁸⁾은 3기통 직분식 디젤기관에서 분사 시기를 조정함에 따라 바이오디젤유를 사용할 경우 출력이 증가되었다고 보고했다.

국내의 경우 폐식용유를 비롯한 식물유 등에 대한 연구^(9,10)를 통하여 농업용 단기통기관을 이용하여 식물유가 디젤기관의 대체연료로서 이용 가능성이 있음을 제시하기도 하였다.

그러나, 산업화의 진행으로 농촌 기계화가 급속히 확산됨에 따라 농업용 기계에 사용되는 석유계 연료에 의한 식물 뿌리의 활착을 및 식물의 성장 저하와 같은 농작물의 피해, 토양 오염, 그리고, 농기계와 최근집 상태에서 작업하는 농민들의 건강 문제가 매우 심각한 상황에서, 이에 대한 해결방안의 일환으로 농업용 디젤기관에 환경 친화적인 바이오디젤유를 적용하고 그에 따른 특성들을 보고한 예가 거의 없는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 국내에서 지속적으로 생산 가능하며 경제성이 충분한 쌀겨로부터 추출한 바이오디젤유를 농업용 다기통 간접분사식 디젤기관에 적용할 경우 바이오디젤유의 혼합량 및 운전조건에 따라 바이오디젤유가 기관성능 및 배기가스 배출특성에 미치는 영향을 고찰하고자 하며, 연소특성면에서도 경유를 사용한 경우와 비교·분석하여 농업용 디젤기관 연료로서의 타당성을 검토하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치 및 연료

실험에 사용된 기관은 수냉식, 4기통, 4행정, 간접분사식 농업용 디젤기관이며, 시동모터에 의해 시동이 되고 기관부하와 기관 회전속도는 엔진 동력계에 의해 임의로 조정할 수 있도록 하였다. 실험에 사용된 기관의 주요 사양을 Table 1에 나타내었다.

Table 2⁽¹¹⁾는 실험에 사용된 연료의 물성치를 나타낸 것으로, 바이오디젤유는 경유에 비해 낮은 발열량을 갖고 있지만, 경유보다 세탄가가 높으면서 인화점도 높아 사용하기 안전한 특성을 갖고 있다. 또한, 바이오디젤유는 탄소함량이 경유보다 약 10%정도 적고, 경유가 갖고 있지 않은 산소를 약 11% 함유하고 있다.

Table 1 The specification of test engine

Item	Specification
Engine model	TD1700
Bore × stroke	82 × 82(mm)
Displacement	1732 (cm ³)
Compression ratio	21
Combustion chamber type	Swirl chamber
Injection timing	BTDC 25°C
Coolant temperature	80 ± 2°C

Table 2 Properties of test fuels⁽¹¹⁾

Item	Diesel fuel	Biodiesel fuel
Gravity(15/4°C)	0.8373	0.8796
Viscosity(50°C, cSt)	3.0	4.2
Flash point(PM, °C)	74	168
Distillation (90% recovery, °C)	337	338
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

2.2 실험 방법

실험에 사용된 연료는 상용연료인 경유를 기본으로 하고, 경유에 체적함량으로 바이오디젤유를 20%, 30%, 50% 혼합한 혼합연료와 순수 바이오디젤유 100%를 이용하여 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 연료필터를 교체하고 연료공급라인을 정비하여, 전 실험이 다음 실험에 영향을 미치지 않도록 충분한 시간동안 기관을 운전한 후 실험을 실시하였으며, 냉각수 온도는 80 ± 2°C로 일정하게 유지하였다. Fig. 1은 실험장치의 개략도를 나타낸 것이다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 기관 성능

Fig. 2는 전부하(100% load)시 기관 회전속도 변화에 따른 제동 토크, 출력 및 제동에너지소비율의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 전 회전속도 범위에 걸쳐 토크와 출력은 바이오디젤유를 20% 혼합한 경우에는 경유의 경우보다 약

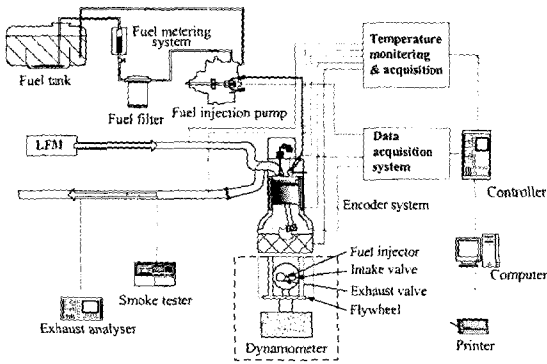


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

간 증가하였고, 그 외의 경우는 혼합량이 증가함에 따라 약간 감소하였지만 BDF 100%를 제외하고는 경유의 경우와 비슷한 경향을 보였다. 제동 에너지소비율은 경유를 사용한 경우보다 바이오디젤유를 혼합하여 사용하였을 때 혼합량이 증가할수록 초점 감소함을 알 수 있다. 이는 바이오디젤유의 발열량이 경유의 경우보다는 작지만, 세탄가가 높고 연료자체에 산소를 함유하고 있어 연소를 촉진시켜 연소효율 향상과 Fig. 3에서 알 수 있듯이 압력상승률과 최고압력의 저하로 마찰손실의 저하에 기인하였기 때문으로 생각된다.

Fig. 3은 Fig. 2와 같은 조건에서 실린더내의 압력, 압력상승률 및 열발생률을 나타낸 것이다. 압력의 경우 전체적으로 비슷한 경향을 보이지만, 연소 후반부에서는 바이오디젤유의 혼합량이 증가할수록 더 높은 압력이 나타남을 알 수 있어 연소 후반부에 더 활발한 연소를 일으켰음을 알 수 있다. 또한, 열발생률의 후반부를 살펴보면 열발생률이 일찍 감소하여 전체적인 연소기간이 단

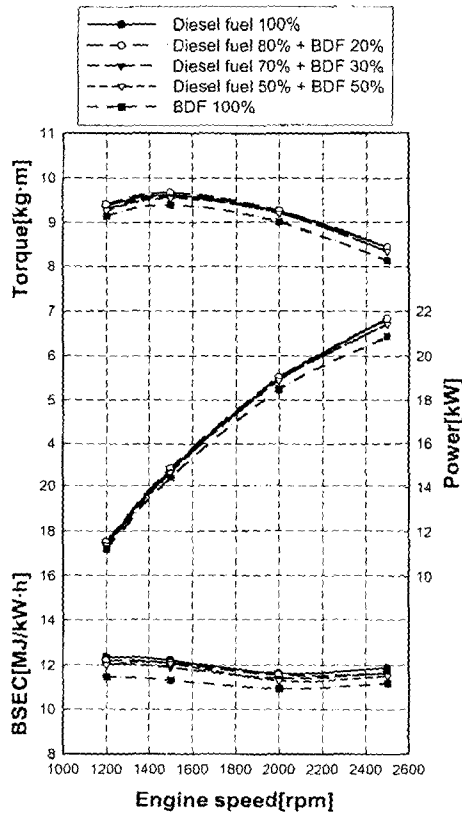


Fig. 2 Engine performance versus engine speed at engine load 100%

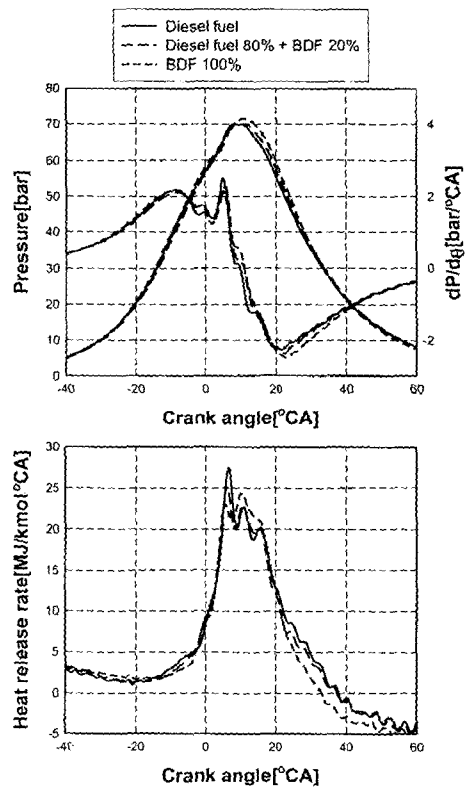


Fig. 3 Pressure, $dP/d\theta$, and $dQ/d\theta$ at engine speed 2500rpm and load 100%

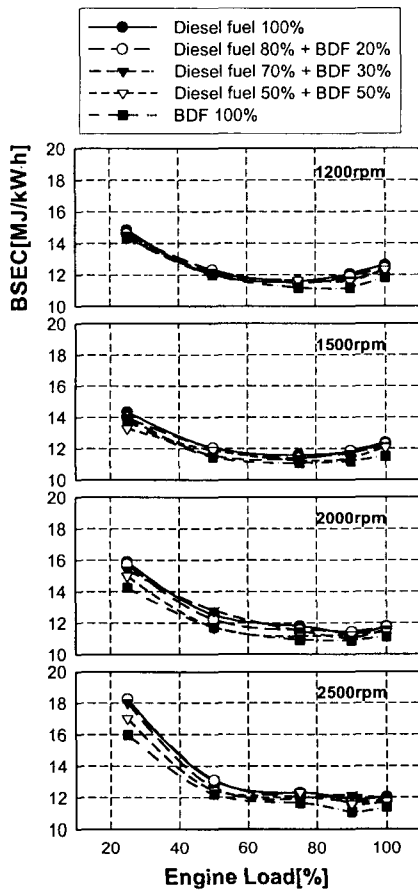


Fig. 4 Energy consumption rate versus engine load at various engine speed

축됨을 알 수 있다. 이는 바이오디젤유가 약 11% 정도의 산소를 함유하고 있어 연소 후반부에 활발한 연소를 촉진시켰기 때문으로 사료된다.

또한, 압력상승률과 열발생률을 살펴보면 초기 피크치가 바이오디젤유의 혼합량이 증가함에 따라 감소함을 알 수 있는데, 이는 바이오디젤유의 세탄가가 경유의 경우보다 높아 착화지연기간이 단축되었기 때문으로 생각된다. 또한, 압력상승률의 저감, 최고압력의 저하로 마찰손실이 저감되었기 때문으로 생각된다.

Fig. 4는 각 회전속도에 있어서 기관 부하변화에 대한 제동에너지소비율을 나타낸 것으로, 전체적으로 바이오디젤유의 혼합량이 증가함에 따라 경유를 사용한 경우보다 제동에너지소비율이 감소함을 알 수 있다.

이는 자동차용 간접분사식 디젤기관에서의 결과⁽¹²⁾와 일치하는 것으로, 농업용 간접분사식 디

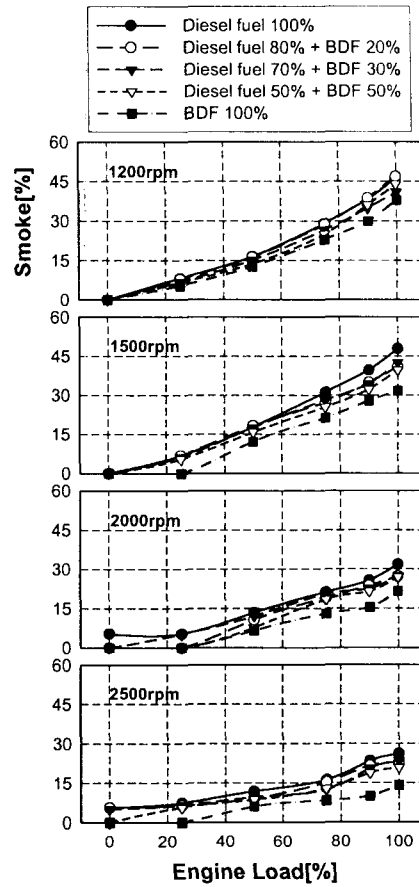


Fig. 5 Smoke emissions versus engine load at various engine speed

젤기관에서도 바이오디젤유를 사용할 경우 제동 에너지소비율이 경유만을 사용하는 경우보다 크게 개선되어짐을 알 수 있다.

3.2 배기가스 배출 특성

Fig. 5는 각 회전속도에서 기관 부하변화에 따른 매연의 배출 특성을 나타낸 것이다. 전체적으로 부하가 증가함에 따라 매연의 배출농도도 증가하였으나, 바이오디젤유의 혼합량이 증가함에 따라 전 기관 운전영역에서 경유를 사용한 경우보다 매연의 배출 농도는 감소하였고, 저부하인 경우보다는 고부하영역으로 갈수록 매연의 저감 폭이 크게 나타났으며, 바이오디젤유 100%인 경우에는 고부하에서 20~46%의 매연이 감소하였다. 이는 바이오디젤유가 산소를 함유하고 있기 때문에 매연이 주로 생성되는 연소 후반부에 연료입자의 신화를 촉진시키고 Fig. 3의 열발생률

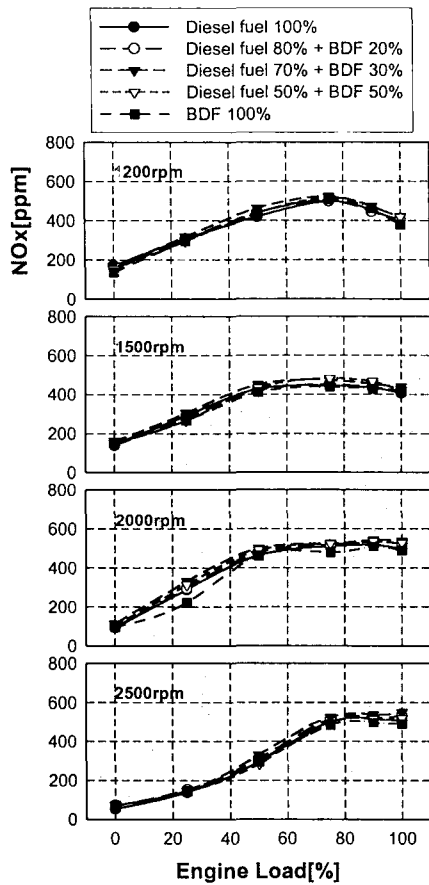


Fig. 6 NOx emissions versus engine load at various engine speed

곡선에서 살펴본 것처럼 연소기간을 단축시켰기 때문에 생각된다.

Fig. 6은 각 회전속도에서 기관부하변화에 따른 NOx의 배출 특성을 나타낸 것이다. NOx의 경우에는 전체적으로 바이오디젤유를 사용한 경우와 경유만을 사용한 경우가 뚜렷한 차이를 보이지 않았으며, 바이오디젤유의 혼합량에 따라서도 뚜렷한 경향이 나타나지 않았다. 이는 Fig. 3에서 나타낸 것처럼 바이오디젤유의 세탄가가 경유보다 크고 에너지밀도가 작아 예혼합연소에 의한 열발생량의 감소로 최고 압력 및 온도 저하 때문으로 생각된다.

Fig. 7은 각 기관회전속도 및 기관부하에서 CO의 배출특성을 나타낸 것이다. 저 회전속도에서는 중부하보다는 무부하 및 고부하인 경우에 CO의 배출량이 많으며, 2000rpm 이상에서는 기관의 부하가 증가함에 따라 감소함을 알 수 있다. 그

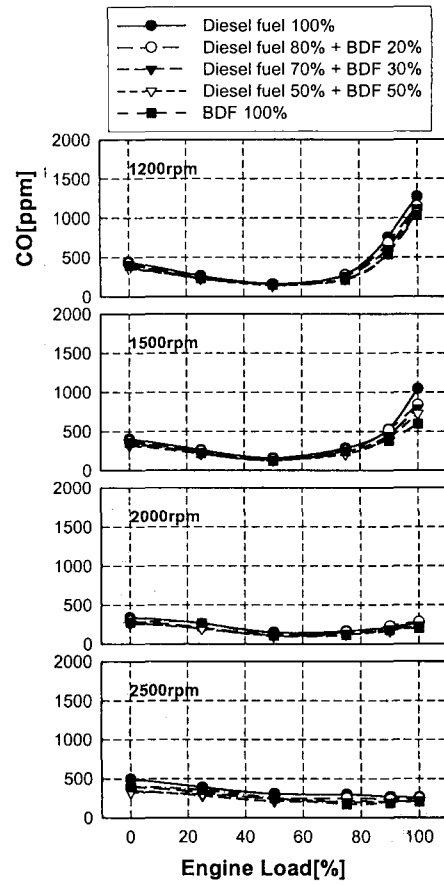


Fig. 7 CO emissions versus engine load at various engine speed

러나, 전체적으로 바이오디젤유를 사용한 경우가 경유만을 사용한 경우보다 CO가 저감됨을 알 수 있고, 바이오디젤유의 혼합량이 증가함에 따라 저감폭이 컸으며, 1200rpm과 1500rpm의 고부하에서 감소폭이 크게 나타났다.

Fig. 8은 각 기관 운전조건에서 CO₂의 배출특성을 나타낸 것이다. 전체적으로 기관 부하가 증가함에 따라 CO₂의 배출량은 증가하였으나, 바이오디젤유를 사용한 경우가 경유만을 사용한 경우보다 감소함을 알 수 있으며, 바이오디젤유의 혼합량이 증가함에 따라 감소폭이 커짐을 알 수 있어 지구온난화의 주원인인 CO₂의 저감에도 효과가 있음을 알 수 있다. 이는 연료의 성분에서 알 수 있듯이 바이오디젤유가 경유보다 더 적은 탄소함량을 가지고 있고, 또한 완전연소를 촉진시켰기 때문으로 생각된다.

Fig. 9는 모든 실험조건에 대하여 바이오디젤유

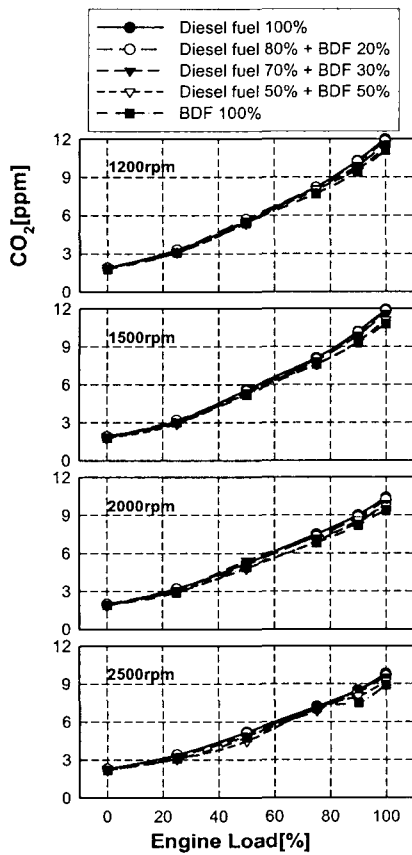


Fig. 8 CO₂ emissions versus engine load at various engine speed

를 사용한 경우 연료속의 산소함량에 따른 매연과 NOx의 배출특성을 나타낸 것이다. 매연의 경우 연료속의 산소함량이 증가함에 따라 매연의 최고 배출 농도가 저감함을 알 수 있어 매연의 저감 원인이 연료속의 산소함량에 기인한 것으로 생각된다. 그러나, NOx의 경우에는 바이오디젤유를 사용할 경우 산소함량에 따라 특별한 경향을 나타내지는 않고, 경유만을 사용한 경우와 비슷한 배출 특성을 보여 일반적인 매연과의 상관관계를 나타내지 않았다. 이는 NOx가 연료속의 산소농도보다는 세탄가와 같은 연료의 물성치에 의한 예혼합연소량과 연소 최고온도에 더 많은 영향을 받았기 때문으로 생각된다. 그러나, 자동차용 간접분사식 디젤기관에서의 NOx 배출 결과⁽¹³⁾와는 약간의 차이가 있음을 알 수 있는데, 이는 농업용 디젤기관의 경우 자동차용 디젤기관과 같이 기관 회전속도가 증가함에 따라 분사시기가 진각되지 않고 일정하기 때문으로 생각된다.

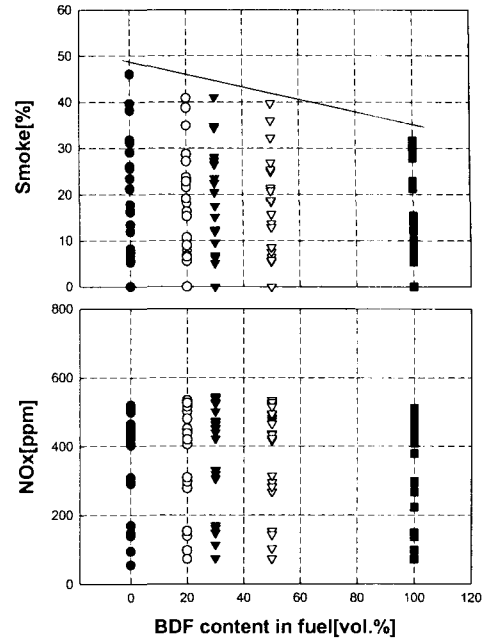


Fig. 9 Smoke and NOx versus oxygen contents in fuel

이상에서와 같이, 농업용 간접분사식 디젤기관에서 바이오디젤유를 사용할 경우, 바이오디젤유가 NOx의 증가없이 매연, CO, 및 CO₂를 크게 저감시킬 수 있어 디젤기관을 위한 저공해 연료로서 매우 타당함을 알 수 있다.

4. 결론

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

(1) 바이오디젤유에 대한 토크 및 출력은 바이오디젤유 20%를 사용한 경우에는 경유만을 사용한 경우보다 약간 증가하였으며, 혼합비율이 증가하여도 바이오디젤유 100%를 제외하고는 경유의 경우와 비슷하였다. 또한, 제동에너지소비율은 바이오디젤유가 증가함에 따라 전 영역에서 경유보다 감소함을 알 수 있었다.

(2) 바이오디젤유의 혼합량이 증가함에 따라 매연이 46%까지 감소함을 알 수 있었으며, 특히 저부하에서보다는 고부하에서 매연의 저감 폭이 크게 나타남을 알 수 있었다.

(3) 바이오디젤유에 대한 NO_x의 배출특성은 전 체적으로 경유의 경우와 비슷하였으며 바이오디젤유의 혼합량에 따라서는 특별한 경향을 나타내지 못하였고, CO 및 CO₂는 전 운전영역에서 경유의 경우보다 감소하였으며 바이오디젤유의 혼합량이 증가함에 따라 감소폭도 증가하였다.

이상에서와 같이 바이오디젤유를 농업용 디젤기관에 적용할 경우 NO_x의 증가없이 매연을 현저히 저감시킬 수 있는 디젤기관을 위한 저공해 대체연료로서 타당함을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 농림부 농림기술개발사업(첨단기술개발과제)의 지원에 의해 이루어진 것으로 관계기관에 감사를 드립니다.

참고문헌

(1) Kyle W. Scholl and Spencer C. Sorenson, 1993, "Combustion of Soybean Oil Methyl Ester in a Direct Injection Diesel Engine," SAE paper, 930934.
 (2) <http://www.biodiesel.org/default2.htm>
 (3) Ziejewski, M., Kaufman, K. R., Schwab, A. W., and Pryde, E. H., 1984, "Diesel Engine Evaluation of a Nonionic Sunflower Oil-Aqueous Ethanol Microemulsion," *Journal of the American Oil Chemists Society*, 61(10), pp. 1620~1626.
 (4) Schumacher, L. G., W. G. Hires, and S. C. Borgelt, 1992, "Fueling a Diesel Engine with Methyl Ester Soybean Oil," *Liquid Fuels From Renewable Resources-Proceedings of an Alternative Energy Conference*.
 (5) Schumacher, L. G., S. C. Borgelt, and W. G. Hires, 1993, "Soydiesel/Biodiesel Blend Research," ASAE paper, No. 93-6523.
 (6) 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.
 (7) Marshall, W. F., 1993, "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. .
 (8) Feldman, M. E. and C. L. Peterson, 1992, "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*.
 (9) Oh, Y. T., 1998, "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.
 (10) Oh, Y. T., 1996, "Vegetable Oils for Diesel Fuel Substitutes," *Journal of Korea Society of Automotive Engineers*, Vol. 18, No. 2, pp. 72~92.
 (11) Korea Petroleum Quality Inspection Institute, 2002, Requested Test Results, No. 17(Chonbuk 28450-36).
 (12) Ryu, K. H., Yun, Y. J. and Oh, Y. T., 2002, "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.
 (13) Yeou-Feng Lue, Yi-Yen Yeh, and Chung-Hsing Wu, 2001, "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.
 (14) Ryu, K. H., Yun, Y. J. and Oh, Y. T., 2002, "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.