

유채유를 연료로 한 직접분사식 농용 디젤기관의 연소특성

최승훈 변종원

Combustion Characteristics of a Direct Injection Agricultural Diesel Engine with Rapeseed Oil

S. H. Choi J. W. Byeon

Abstract

Harmful exhaust emissions of diesel engines are recognized as main causes of air pollution in these days. But, the direct injection diesel engine is widely used for sake of minimization on energy consumption. Because biodiesel fuel is a renewable and alternative fuel for a diesel engine, its usability is expanded. To investigate the effect of biodiesel fuel(extracted from rapeseed oil) on the characteristics of performance and exhaust emissions in an agricultural diesel engine, the biodiesel fuel derived from rapeseed oil was applied in this study. Smoke emission of esterified rapeseed oil was reduced remarkably by approximately 44.5% at 1500 rpm, full load in comparison with the commercial diesel fuel. The power, torque and brake specific energy consumption of the diesel engine showed very slight differences. It was concluded that esterified rapeseed oil could be utilized effectively as an alternative and renewable fuel for agricultural direct injection diesel engines.

Keywords : Rapeseed oil, Agricultural diesel engine, Exhaust emission, Smoke, Alternative fuel

1. 서론

최근 유가 상승과 디젤기관의 배기배출물을 포함한 차량분야의 환경오염문제로 인해 더욱 엄격해지는 배기가스규제 및 국가의 에너지수급 대책으로서 석유계 에너지를 대체할 대체 에너지에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이러한 대체 에너지 중 바이오디젤유(Oh et al., 2002; Choi et al., 2002)는 지방산 글리세린 에스테르를 단쇄기 알코올의 지방산 에스테르로 전환시킨 것이다. 이는 각종 식물성 기름에서 생산할 수 있는 디젤엔진의 대체연료로서, 자연친화적이며, 재생 가능한 연료로서 전 세계 어느 곳에서든지 지역의 풍토에 맞는 농업 생산물을 이용하여 생산이 가능하다는 장점이 있어 많은 관심의 대상이 되어왔다. 현재까지 연구결과들을 살펴 보면(Monyem and Gerpen, 2001; Krahl et al., 2009) 각각의

지역 농산물의 생산품에 따라서 대두유, 미강유, 코코넛유, 팜유 등을 이용한 바이오디젤유의 연구가 활발하게 진행되고 있다. 국내에서 생산되는 바이오디젤유는 국내 주요 농산물인 쌀의 가공부산물인 쌀겨와 대량수입가능한 대두유로부터 주로 생산되어 왔다. 바이오디젤유는 경유와 성상이 비슷하며, 연료 자체에 다량의 산소를 함유하고 있어 특히, 고부하 및 고회전 속도 영역에서 매연저감에 효과적인 장점을 갖고 있다. 하지만, 점도가 경유의 경우보다 약간 높고 저온유동점이 높기 때문에 순수 바이오디젤유를 국내 동절기와 같은 저온 상태에서 사용하는 데는 어려움이 있다. 따라서 상용 경유와 바이오디젤유를 혼합하여 사용하는 방법을 선택하고 있으며, 기계적인 분사방식 디젤기관에서는 바이오디젤유 20%이하의 적용이 안정적이라고 보고되고 있다(Choi and Oh, 2005; Choi and Oh, 2008). 그러나, 바이오디젤유의 생산에

The article was submitted for publication on 2009-03-10, reviewed on 2009-04-23, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2009-05-04. The author are Seung Hun Choi, KSAM member, Research Professor, Dept. of Mechanical Engineering, Chonbuk National University, Jeonju, Korea, and Jong Won Byeon, Professor, Dept. of Manufacturing and Design Engineering, Jeonju University, Jeonju, Korea. Corresponding author: J. W. Byeon, Professor, Dept. of Manufacturing and Design Engineering, Jeonju University, Jeonju, 1200, Korea; Fax: +82-63-220-2056; E-mail: <byeon@jj.ac.kr>.

서 원료확보 및 높은 생산단가는 유동적인 세계의 곡물시장과 직접적으로 연결되어 있어 가장 큰 문제점으로 지적받고 있는 실정이다. 유채는 식물유 함유율이 상대적으로 높고, 우리나라 기후에서 재배하기 적절한 작물로서 원료비 절감을 이루어 바이오디젤유의 경제성을 높이는 적절한 작물로 평가받고 있으며, 지금은 생산가능성 면에서 경유시장의 보완재로 인식되고 있다(Kim et al., 2008). 따라서 본 연구에서는 유채유를 이용하여 제조한 바이오디젤유를 직접분사식 농업용 디젤기관에 적용할 경우, 기관 성능 및 배기가스 배출 특성을 디젤기관의 상용연료인 경유와 비교·분석하여 유채유의 디젤기관의 대체연료로서 이용가능성을 확인하고자 한다.

2. 재료 및 방법

실험에 사용된 기관은 수냉식, 단기통, 4행정, 직접분사식 농업용 디젤기관이며, 기관부하와 기관 회전속도는 기관 동력계에 의해 임의로 조절할 수 있도록 하였다. 실험에 사용된 기관의 사양은 표 1에 나타내었다. 표 2는 실험에 사용된 연료의 특성을 한국석유품질검사소에서 분석한 것으로 경유와 비교하여 나타낸 것이다. 유채유는 탄소함량이 경유보다 적어 발열량이 약간 저하되지만, 세탄기는 경유보다 높은 특성을 가지고 있으며 황성분이 전혀 포함되어 있지 않다. 또한 유채유는 경유자체에 내포하고 있지 않은 산소를 약 10% 함유하고 있다. 본 실험에 사용된 연료는 순수 바이오디젤유 사용시 점도가 높아 100%사용이 어려워 경유와 혼합하여 사용하였다. 즉, 상용연료인 경유와 순수 유채유, 그리고 경유에 5%, 20%, 50%의 유채유를 체적비율로 혼합하여 이용하였으며, 농업용 디젤기관의 각 회전속도에서 동일한 제동평균유효압력(BMEP)에 따른 기관 성능 및 배기배출물을 측정하였다. 유채유의 발열량이 경유보다 낮으므로 회전속도별 부하를 측정하여 동일 제동평균유효압력에서 측정을 수행하였다. 배기가스의 특성을 파악하기 위하여 배기다기관으로부터 300 mm 하류에 매연측정장치(HBN-1500, Hesbon, Korea)를 사용하여 일정량의 배기가스를 흡입한 후 여과지에 흡착된 매연의 농도를 측정하였으며, 매연의 농도는 동일조건에서 3회 반복 측정하여 평균값을 취하였다. CO₂ 및 NO_x의 측정은 배기 매니폴드로부터 약 400 mm 하류에서 전기화학적 셀 방식의 배기가스 분석기(MK 2, Greenline, Italy)로 일정량의 배기가스를 흡입하여 측정하였다. 또한, 기관이 일정량의 연료를 소모하는 시간을 측정하여 동일 일에 대한 에너지 소비율 (MJ/kW·h)로 계산하였다. 분사시기는 실험조건에 관계없이 BTDC 23° CA로 고정하였다. 또한, 실험조건이 변경될 때 마다 냉각수, 윤활유, 연료 등의 온도를 일정하게 유지하였으며, 연료 공급계통, 연료 필터 및 연료탱크속의 모든

연료를 완전히 교체하고, 전 실험이 다음의 실험에 영향을 미치지 않도록 충분한 시간동안 예비운전을 실시한 후 실험을 수행하였다. 그림 1은 전체적인 실험장치의 계략도를 나타내고 있다.

Table 1 Specification of test engine

Item	Specification
Engine model	ND130
Bore × Stroke (mm)	95.0×95.0
Displacement (cc)	673
Compression ratio	18
Injection timing	BTDC 23° C

Table 2 Properties of test fuels

	Diesel	Rapseed
Calorific value [MJ/kg]	43.96	36.89
Cetane number	51.4	59.1
Sulfur (wt%)	0.05	0
Carbon (wt%)	85.83	78.20
Hydrogen (wt%)	13.82	11.71
Oxygen (wt%)	0	10.09

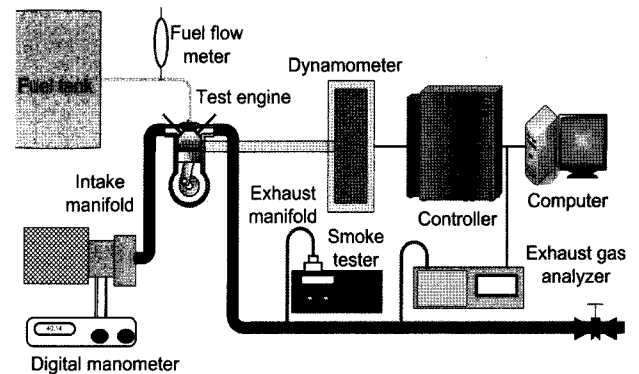


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 기관의 속도별로 동일한 부하에서 유채유의 혼합률에 따른 제동에너지소비율 (BSEC)의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이, 연료중의 바이오디젤유 함유량에 따른 BSEC의 변화는 경유와 비교하여 거의 유사한 경향을 나타내고 있다. 경유와 비교하여 2000 rpm, 전부하의 경우에 유채유 혼합률 5%와 20%는 약 1%, 50%는 약 1.8%, 100%는 약 2.3%의 제동 에너지소비율의 개선효과가 나타남을 알 수 있다. 이는 바이오디젤유의 발열량이 경유만을 사용한 경우와 비교하여 약간 저하되더라도 불구하고 바이오디젤유 내에 함유된 산소성분에 기인한 기관의 연소효율이 개선되었기 때

문으로 생각된다. 즉, 산소농도가 증가하면 반응속도가 증가되므로 연소범위는 넓어지게 되며 특히, 과농한 영역인 고부하 영역에서 반응속도가 증가하고 연소를 안정화시켰기 때문으로 생각한다(Oh et al., 2002).

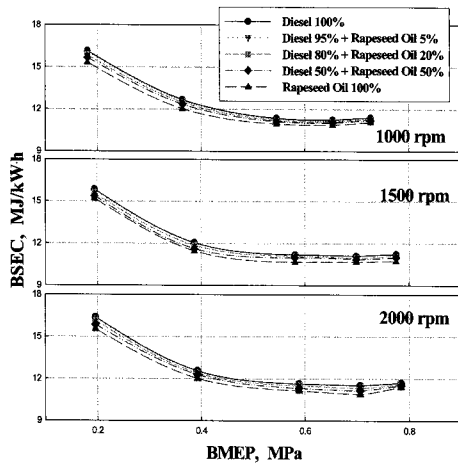


Fig. 2 BSEC versus rapeseed oil contents.

그림 3은 경유와 순수 유채유, 그리고 혼합유를 각각 연료로 사용한 경우 기관 속도와 제동평균유효압력변화에 따른 매연의 배출 특성을 나타낸 것이다. 경유와 비교하여 2000 rpm, 전부하영역에서 유채유 혼합율 5%는 1%의 매연 개선 효과를 보여 그 차이는 크지 않았으나, 20%는 약 14%, 50%는 약 17%, 100%는 약 28%의 매연 저감효과를 나타내었다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이, 고부하 영역으로 갈수록 경유와 유채유, 혼합연료 사이의 현격한 매연의 배출농도 차이를 보이고 있다. 이는 저부하 영역에서는 경유를 사용한 경우에도 실린더 내의 산소의 양이 충분하여 연소가 잘 이루어져 매연의 생성이 큰 차이를 보이지 않았으나, 고부하 영역에서는 유채유 자체에 포함된 산소성분이 비교적 산소농도가 희박한 후연소 기간 동안에 연료입자의 산화를 촉진시켜 연소 과정 전반에 기여했기 때문으로 생각된다.

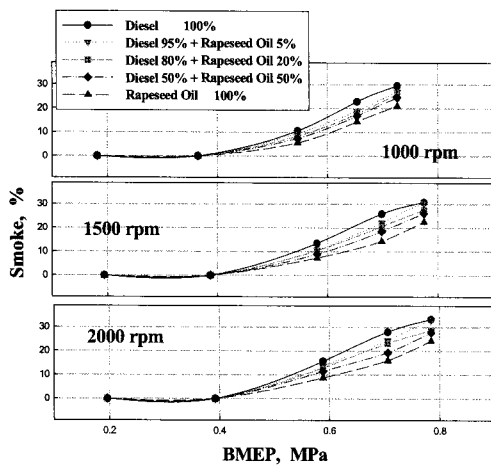


Fig. 3 Smoke versus rapeseed oil contents.

그림 4는 경유와 순수 유채유, 그리고 혼합유를 각각 연료로 사용한 경우 기관 회전속도와 부하변화에 따른 NOx의 배출 특성을 나타낸 그림이다. NOx의 배출특성은 유채유의 함유량이 증가할수록 증가하는 것을 알 수 있다. 2000rpm, 90%의 부하영역에서 유채유 혼합률 5%는 약 2%, 20%는 약 7%, 50%는 약 9.6%, 100%는 약 16%의 NOx 증가를 나타내고 있다. 일반적으로 NOx의 생성은 실린더 내부의 온도와 밀접한 관계를 가지고 있는 것을 알려져 있다. 연소실내로 흡입된 공기 중의 질소성분이 고온으로 인해 질소산화물을 생성하는데 유채유 자체에 포함되어 있는 산소 성분이 연료입자의 산화를 촉진시켜 연소를 촉진시킴으로서 실린더 내부의 온도가 상승하여 질소산화물의 생성을 촉진시키는 것으로 생각된다(Choi and Oh, 2005).

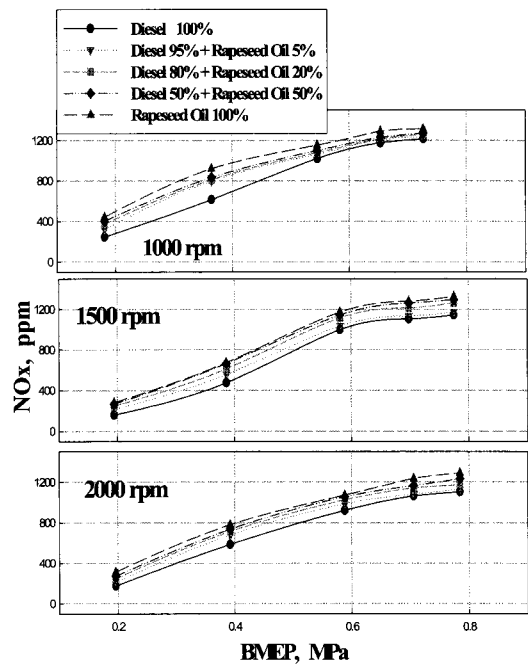


Fig. 4 NOx versus rapeseed oil contents.

그림 5는 경유와 순수 유채유, 그리고 혼합유를 각각 연료로 사용한 경우 1500 rpm의 기관회전속도 영역에서 부하에 따른 매연 배출의 저감율을 나타낸 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이 유채유의 함유량이 높을수록, 즉 연료내의 산소함량이 높을수록 매연 생성 저감율이 증가함을 알 수 있으며, 순수 유채유를 연료로 사용한 경우에 경유와 비교하여 최대 37%의 매연저감이 이루어짐을 알 수 있다. 이는 유채유를 혼합하여 연료로 사용한 경우에 실린더 내의 고온상태에서 잔존하는 탄소상 미립자의 생성량과 산화량의 차이가 줄어들었기 때문이며, 유채유내에 포함된 산소성분이 연료의 주성분인 탄화수소 성분의 산화속도를 더 빠르게 진행시켜주었기 때문(Choi and Oh, 2005)으로 생각된다.

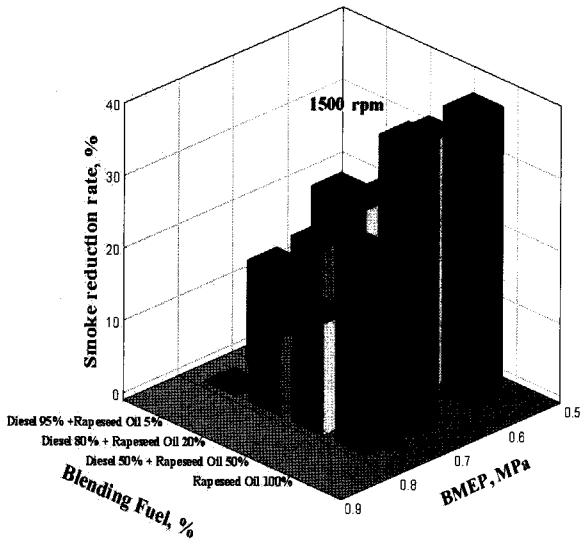


Fig. 5 Smoke reduction rate versus rapeseed oil contents.

그림 6은 그림 5와 동일한 조건에서 경유와 순수 유채유, 그리고 혼합유를 각각 연료로 사용한 경우 부하에 따른 NOx 배출 증가율을 나타는 그림이다. 유채유의 혼합율이 증가 할수록 NOx의 증가율이 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 유채유의 혼합율 즉, 연료내의 산소량이 증가함에 따라 연소과정에서 실린더내의 온도가 상승하여 NOx의 생성에 영향을 미치는 것으로 생각된다. 하지만 NOx의 증가량은 최대 14%이 내로 그리 큰 증가량을 보이고 있지 않다. 이는 그림 3에서 나타난 바와 같이 유채유를 혼합하여 연료로 사용하였을 경우 매연의 저감율은 최대 39%까지 이루어져 NOx의 증가율을 크게 상회하여 유채유의 효용을 입증할 수 있었다.

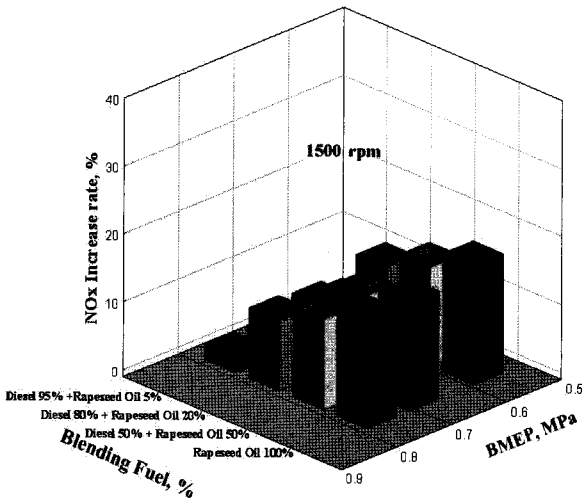


Fig. 6 NOx Increase rate versus rapeseed oil contents.

그림 7은 2000 rpm의 기관회전속도에서 연료내의 산소함량에 따른 부하별 매연의 발생량을 나타낸 그림이다. 그림에서 알 수 있듯이 연료내의 산소 함량에 따라 매연의 발생량

이 줄어드는 것을 알 수 있다. 저부하영역에서는 연소실내 흡입되는 산소의 공급이 원활하기 때문에 충분한 산소량을 확보할 수 있어 연소가 원활하게 이루어져 순수 경유만을 연료로 사용한 경우에도 매연의 발생이 거의 없음을 알 수 있다. 그러나, 고부하영역에서는 연료내의 산소량이 증가함에 따라서 매연의 저감이 이루어짐을 알 수 있다.

그림 8은 그림 7과 동일한 조건에서 부하별 NOx의 발생량을 나타낸 그림이다. 연료내 산소의 함량의 증가에 따른 실린더내의 온도의 증가로 NOx의 발생이 증가됨을 알 수 있다. 그림 7과 그림 8에 나타난 바와 같이 동일한 부하와 회전속도 영역에서 산소량이 증가됨에 따라 매연은 저감되며 NOx는 증가되는 상반관계를 명확히 알 수 있었다. 그러나, 유채

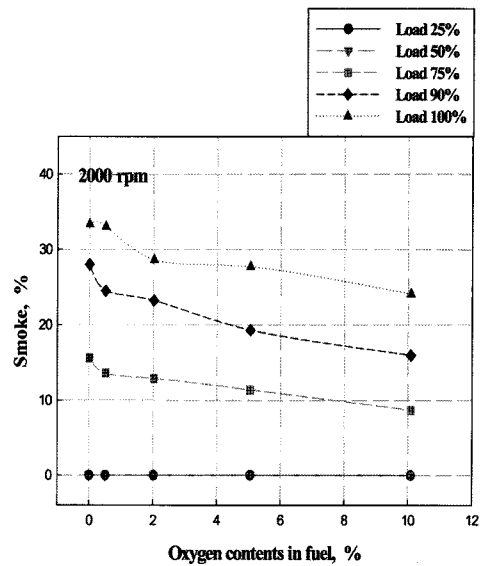


Fig. 7 Smoke emission versus oxygen.

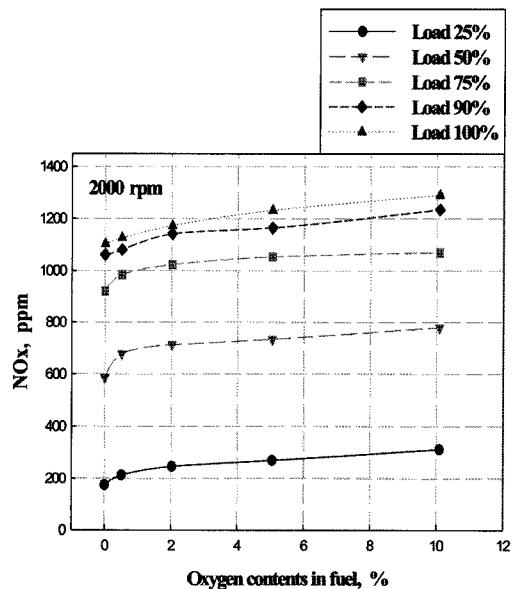


Fig. 8 NOx emission versus Oxygen contents at 2000 rpm.

유에서 추출한 바이오디젤유 적용시 동일한 조건에서 연료내의 산소함량이 증가함에 따라서 매연의 저감량이 NOx의 증가율을 상회함을 알 수 있어 배기배출물 측면에서 유채유의 유용성을 확인 할 수 있었다.

4. 요약 및 결론

경유, 유채유 및 일정한 체적비율로 경유에 유채유를 혼합한 연료를 수냉식, 단기통, 직접분사식 농업용 디젤기관에 사용하여 이들 연료들의 연소 특성과 기관성능, 배기 배출물에 미치는 영향에 대하여 연구한 결과 다음과 같은 결론에 도달하였다.

- (1) 에너지소비율(BSEC)의 측면에서 경유만을 사용한 경우와 유채유를 혼합한 경우 또는 유채유만을 사용한 경우가 2%미만의 개선효과를 보여 직접분사식 농업용 디젤기관의 대체연료로서 유채유의 적용 가능성을 확인할 수 있었다.
- (2) 유채유를 농업용 직접분사식 디젤기관의 연료로 사용하였을 경우 연료내의 산소함량이 증가 할수록 매연의 배출이 감소하며, NOx의 발생이 증가하였다. 즉, 2000 rpm, 전부하영역에서 디젤기관에 경유와 순수 유채유를 적용한 경우 매연은 28%정도 저감되고, NOx는 16%정도 증가되었다. 그러나, NOx의 발생이 최대 17%가까이 증가하지만 매연의 배출 감소는 최대 37%까지 감소하여 매연의 저감폭이 NOx의 증가폭을 크게 상회하여 농업용 디젤기관에 대한 유채유의 효용성을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

1. Choi, B. C., C. H. Lee and H. J. Park. 2002. Power and emission characteristics of DI diesel engine with a soybean bio-diesel fuel. *Journal of the Korea Society for Power System Engineering* 6(3):11-16.
2. Choi, S. H. and Y. T. Oh. 2005. Combustion characteristics of esterified rice bran oil as and alternative fuel in a diesel engine. *International Journal of Automotive Technology* 7(4):399-406.5
3. Choi, S. H. and Y. T. Oh. 2008. The characteristics of exhaust emission by durability test with biodiesel fuel (20%) in a commercial CRDI diesel engine. *Journal of Biosystems Engineering* 33(6):379-383.
4. Kim, Y. J., Y. K. Kang, K. C. Kang and Y. S. Ryou. 2008. Facilities for bio-production and environmental engineering ; fuel qualities of different biodiesels in the Gun Type Burner. *Journal of Biosystems Engineering* 33(2):124-129.
5. Krahl, J., G. Knothe, A. Munack, Y. Ruschel, O. Schroder, E. Hallier, G. Westphal and J. Bunger. 2009. Comparison of exhaust emissions and their mutagenicity from the combustion of biodiesel, vegetable oil, gas-to-liquid and petrodiesel fuels. *Fuel* 88:1064-1069
6. Monyem, A. and J. H. Van Gerpen. 2001. The effect of biodiesel oxidation on engine performance and emissions. *Biomass and Bioenergy* 20:317-325.
7. Oh, Y. T., S. H. Choi and S. W. Kim. 2002. A study on characteristics of rice bran oil as an alternative fuel in diesel engine(I). *Transaction of Korea Society of Automotive Engineers* 10(2):15-22.