

## 바이오디젤의 농용트랙터 적응성 검토

김영중 박석호 김충길 임동혁 김혁주 정상철 김성수

### Investigation of Adaptabilities of Biodiesel for Agricultural Tractor

Y. J. Kim S. H. Park C. K. Kim D. H. Im H. J. Kim S. C. Jung S. S. Kim

#### Abstract

Biodiesel of 20% (BD20) and 100% (BD100), alternative fuels for tractor, were tested for its power and competitiveness in the various farm operations including plowing and rotary tilling in the paddy fields. No troubles such as engine ignition or abrupt stopping were monitored during the works of plowing, rotary tilling and travelling on the road. According to the tractor PTO test in accordance with OECD tractor PTO test codes, no significant PTO output difference was found between the three fuels. However, fuel consumption rates were different between the biodiesels and diesel fuel in the paddy works, where as biodiesel percentage increased more fuels were spent than the diesel fuel. The reason for this phenomenon seems came from density difference of the three fuels. Maximum fuel consumption difference occurred between BD100 and diesel fuel was about 10% in the plowing. More energy was spent on the rotary tilling operations than the plowing, where 35~40 % more fuel needed on rotary tilling than plowing. Of the exhaust gases, more CO<sub>2</sub> was discharged from diesel fuel than biodiesels, but more NO<sub>x</sub> from biodiesels and CO was hard to determine which fuel produce more amount.

**Keywords :** Biodiesel, Tractor, Plowing, Rotary tilling, Fuel consumption, Exhaust gas, PTO output, Engine RPM

#### 1. 서론

바이오디젤(BioDiesel, BD)이란 에스테르교환 반응을 통해 트리글리세이드지방을 에스테르로 전환함에 의해 식물유나 동물성지방으로부터 만들어진 합성소 디젤연료를 말한다. 염기촉매 뿐 아니라 산성촉매, 생화학(효소)촉매를 이용하는 에스테르교환반응도 있으며 더 나아가 비촉매 에스테르 교환 반응도 있다. 디젤은 디젤기관을 발명한 독일의 엔지니어인 디젤을 기념하는 말로서 원래 디젤기관은 콩기름으로 작동되는 기관이었으나 콩기름은 식용으로 생산비용이 비싸서 경유로 작동하는 기관이 되었고 근래에 석유자원의 고갈로 다시 식물유를 기반으로 하는 바이오디젤이 부상되고 있다. 바이오디젤은 경유보다 분자구조상 산소기를 2개 더 포함하면서 산소를 11% 더 함유함으로써 완전연소조건이 우수하고 배기

가스 저감 효과가 우수하다(Environmental Building News, 2003).

바이오디젤 이용이 활성화된 선진 외국에서는 도심버스와 난방용 연료로 100% 바이오디젤을 사용하기도 한다(Environmental Building News, 2003). 내연기관에 20% 바이오디젤(BD20)을 사용하면 매연은 -20%, 일산화탄소는 -12%, 미세분진은 -12%, NO<sub>x</sub>는 +2%, SO<sub>x</sub>는 -20%, 방향족 화합물은 -13%가 경유와 차이가 난다는 보고가 있다(Lee, 2004). 내연기관에서 바이오디젤 연소시 NO<sub>x</sub>의 증가원인으로는 바이오디젤의 세탄가가 경유보다 다소 높다는데 있으며, 일반적으로 세탄가가 높은 연료는 휘발성이 강해 공기와 혼합할 시간이 불충분하여 미연소의 원인이 된다(Hofman, 2003). 농업용 온풍난방기에서 바이오디젤의 적응성을 검토한 바에 의하면 경유에 비하여 연소성능도 비슷하고 유해배출가스성

The article was submitted for publication on 2009-12-04, reviewed on 2010-01-13, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2010-02-11. The authors are Young Jung Kim, Agricultural Researcher, KSAM member, Seok Ho Park, Senior Agricultural Researcher, KSAM member, Chung Kil Kim, Dong Hyeok Im, Hyuck Joo Kim, Agricultural Researcher, KSAM member, Sang Cheol Jung, Intern Researcher, KSAM member, National Academy of Agricultural Science (NAAS), RDA and Sung Su Kim, Engineer, R&D Engine Team, Daedong Industrial Co. Ltd. Corresponding author: Y. J. Kim, Agricultural Researcher, KSAM member, NAAS, RDA, Suwon, Korea; Tel: +82-31-290-1828; Fax: +82-31-290-1840; E mail: <kim0yoj@korea.kr>.

분은 경유연소 때 보다 적게 배출된다고 보고되었다(Kim et al., 2008). 바이오디젤유의 일반디젤차량 연료적용연구(Ministry of Commerce Industry and Energy, 2006)가 수행되었으며 일반디젤차량을 대상으로 바이오디젤유 공급시 혼합율 5%가 적합하다고 보고하였다. Prankl 등(2006)은 여러 가지 바이오디젤을 연료로 하여 단기통엔진시험을 하였고 이를 경유엔진시험결과와 비교 분석하였던 바 엔진마모정도, 배기가스분석치, 엔진오일점성 등은 경유엔진시험결과와 큰 차이가 없었지만 엔진성능과 엔진내부탄소적적정도는 경유엔진결과보다 열악했다고 보고하였다. “농업용 디젤기관 연료로서의 바이오디젤 제조 및 실용화기술개발”(Ministry of Agriculture and Forestry, 2003)에 의하면 농업생산물에서 얻어지고 재생 가능한 바이오디젤유는 농업용디젤기관에 연료로 적용 가능함을 확인할 수 있었다. 바이오디젤의 디젤엔진 적용연구는 국내외적으로 다수 수행되었지만(Lee et al., 2005) 실제 포장작업에서 수행된 연구사례는 없었고, 더구나 국내 농업용 바이오디젤구동 트랙터를 대상으로 포장작업에 대한 평가는 아직 이루어지지 않았다. 이에 본 연구는 에너지절감 및 탄소배출 10% 감소 이슈에 부응하여 수행하게 되었다. 본 연구의 목적은 BD20과 BD100을 농업용 트랙터 연료로 사용할 때 성능특성을 경유와 비교하고 그 적응성을 연구하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 공시연료

본 시험에 사용된 바이오디젤은 국내 바이오디젤전문제조업체 M사에서 구입한 것으로 한국석유품질관리원이 규정한 바이오디젤 품질기준을 만족시키는 제품으로 지방산에스테르함량이 무게기준으로 99.13% 이상이었고, 인화점은 186°C, 동점도는 40°C에서 4.3 mm<sup>2</sup>/s, 밀도는 15°C에서 882 kg/m<sup>3</sup>였다. 구입한 BD100을 부피비로 경유와 혼합하여 BD20을 조제하였고, 경유는 일반주유소의 경유를 사용하였다. 배출가스 조사항목은 이산화탄소, 일산화탄소, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>로 정하였고 바이오디젤과 경유를 비교하였다. 시험포장은 수원시 입북동 벼논 1,000평으로 하였다.

### 나. 공시기종

본 시험에 사용된 트랙터는 공동연구업체 대동에서 제공한 LX470C(Daedong, Korea)로서 정격엔진회전속도 2600 rpm에서 엔진출력이 37.3 kW, PTO 출력이 29.4 kW였다. 쟁기는 작업폭 1.6 m, 5륜이랑쟁기(SW-PS1706, Daedong, Korea), 로타베이터는 작업폭 1.7 m, HC175GS(Hankookchain, Korea)을 사용하였다.

### 다. 포장시험

바이오디젤 트랙터의 포장작업특성을 조사하기 위해 작업속도, 연소배출가스성분조사, 엔진회전속도, 연료소모량, PTO 토크를 실시간으로 조사하였다. 시험포장크기는 100×30 m로 토성은 미사질식토였다. 쟁기작업은 작업단수 4, 5, 6단, 엔진회전속도 1,400, 1,700, 2,600 rpm으로 조절였으며 이때 트랙터 주행속도는 0.9~1.5 %로 경심은 13.1~13.8 cm로 나타났다. 로타리작업은 경운피치 10, 11, 12, 14 cm, 엔진회전속도는 1,400, 1,700, 2,000, 2,600 rpm, 작업속도는 0.3~0.5 %, 경심은 11.8~13.8 cm에서 실시하였다.

트랙터 엔진회전속도는 트랙터자체의 타코메타 신호를 받아 이용하였다. 타코메타는 트랙터 기어박스에 조립된 픽업 센서에 의해 작동되며, 출력은 0~12 V 값으로 출력되며 한계 레벨은 3.5~6.8 V, 2,000 rpm에서 567 Hz의 특성을 갖는다. 이 신호를 엔진회전속도로 변환한 결과 실제회전속도와의 ±30 rpm의 오차를 보였다. 연소배출가스분석장치는 Greenline MK2(eurotron, Italy), 연료소모량은 펄스출력유량계(MO5, Macnaught, Australia)를 연료탱크와 연료펌프 사이에 설치하였다. 모든 데이터는 데이터수집장치에서 실시간으로 노트북에 이송하여 분석하였다(Jung et al., 2009).

### 라. PTO 출력 측정

PTO 성능시험은 전부하시험, 부분부하시험, 엔진회전속도 변동 부분부하시험을 실시하였다. 전부하시험과 부분부하시험은 조속기 레버를 정격엔진회전속도인 2600 rpm으로 설정한 반면, 엔진회전속도변동 부분부하시험은 실제 농작업을 수행하는 것을 가정하여 엔진회전속도를 변경하면서 부하를 변동시켜 연료소모량을 측정하는 방법이다(OECD Code 2). 트랙터 PTO 성능시험은 국립농업과학원 농업공학부에 설치된 트랙터 PTO 성능시험장치(AG400, Froude, United Kingdom)를 이용하였다. 전부하시험은 엔진회전속도를 정격엔진회전속도인 2600 rpm으로 설정한 후 부하를 가하여 엔진회전속도를 100 rpm단위로 낮춰가면서 측정하였다. 부분부하시험은 2600~1400 rpm범위에서 PTO 토크부하를 85%, 75%, 50%, 25%, 무부하 단계로 낮춰가면서 PTO 출력, 연료소모량 등을 측정하였다. 엔진회전속도 변동 부분부하시험은 엔진회전속도를 정격엔진회전속도의 90%, 60%수준으로 설정하고, 출력을 정격출력의 80%, 60%, 40%일 때의 연료소모량, PTO 토크 등을 측정하였다.

그림 1에서 보는 바와 같이 OECD 트랙터 PTO 시험규정에 따라 경유, BD20, BD100을 연료로 사용할 때 PTO 성능을 조사하였고 그 성능을 비교하였다.

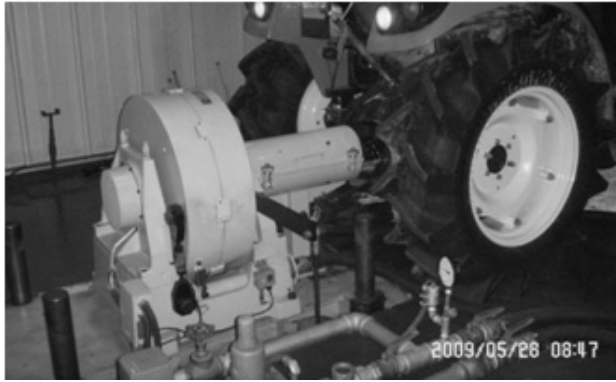


Fig. 1 PTO performance test.

#### 4. 결과 및 고찰

##### 가. PTO 출력

그림 2는 OECD 트랙터 시험기준에 따라 트랙터의 PTO출력과 연료소모량을 측정한 결과이다. 전부하 상태에서의 트랙터 PTO 출력은 경유의 경우 9.6 kW에서 28.1 kW로 나타났으며, 엔진회전속도와 부하를 변경하면서 시험한 PTO 출력은 경유의 경우 10.9 kW, 16.45 kW, 10.8 kW, 21.7 kW, 21.5 kW, 27.1 kW로 나타났다. BD20과 BD100의 PTO 출력은 경유와 거의 같게 나타나 유종별로 PTO 출력은 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나, 연료소모량은 BD100을 사용할 경우 엔진회전속도에 따라 3.8~11.8 L/h, 경유를 사용했을 경우 3.5~11.2 L/h로 나타나 바이오디젤 함유량이 많을수록 연료가 더 소모되는 것으로 나타났다.

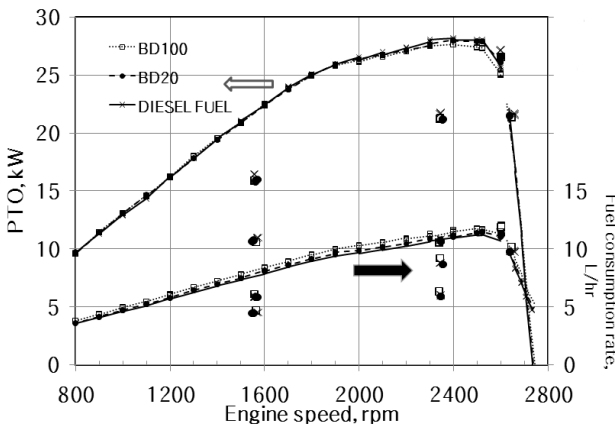


Fig. 2 Engine speed, fuel consumption rate and PTO output.

##### 나. 엔진회전속도와 연료소모량

그림 3은 시험포장에서 쟁기작업시 엔진회전속도에 따른 연료소모량으로 1,000~2,500 rpm에서 바이오디젤과 경유를 비교하였다. 바이오디젤도 경유와 비슷하게 엔진회전속도가

증가할수록 연료소모량이 증가하는 연료소비패턴을 보여 주고 있음을 알 수 있었다. 또, 엔진회전속도가 높을수록 연료소모량 변이가 크다는 것을 보여주었다.

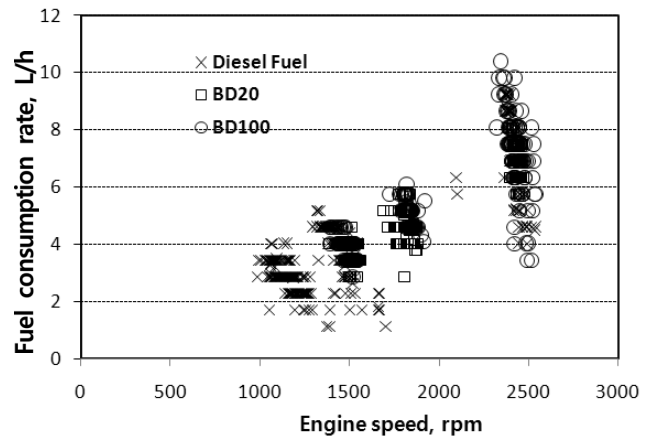


Fig. 3 Engine RPM and fuel consumption rates by the different fuels.

##### 다. 농작업별 연료소모량

그림 4는 작업별 연료소모량으로서 쟁기작업, 마른논로타리, 무논로타리작업시 연료소모량을 비교하였다. 쟁기작업시 경유, BD20, BD100의 연료소모량은 각각 3.51, 3.67, 3.8 L/h로 나타났다. 마른논로타리작업시의 연료소모량은 5.37, 5.85, 5.96 L/h으로 측정되었으며, 무논로타리작업은 5.45, 5.88, 6.53 L/h가 되었다. 무논이든 마른논이든 로타리작업에 소요되는 연료소모량이 쟁기작업에 비해 35~40% 더 많이 소비되었다. 통계프로그램 SAS GLM Procedure Duncan's Multiple Range Test를 쟁기작업에서 연료소모량 차이를 구명하고 자 수행하였다. 던컨의 다중비교에 의하면 쟁기작업시 연료소모량은 유종에 따라 통계적으로 분명한 차이를 보였다(Table 1). BD100과 경유의 연료소모량 차이는 최고 10% 까지 차이가 났음을 알 수 있었다. 이러한 유종에 따른 연료소모량차이는 로타리 작업시에도 똑같은 경향을 보였다.

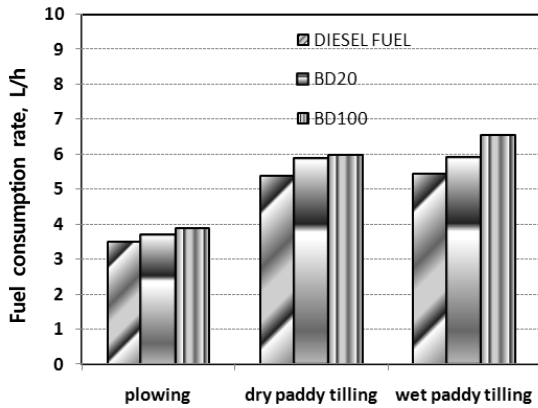


Fig. 4 Fuel consumption rate by the different paddy operations.

Table 1 Comparison of means of fuel consumption rate in the different fuel for plowing by Duncan's multiple range test in the ( $\alpha=0.05$ , MSE= 0.098)

Duncan Grouping*	Mean of fuel consump. rate	Number of observation	Oil type
A	3.88	100	BD100
B	3.66	105	BD20
C	3.51	113	diesel fuel

\* Means with the same letter are not significantly different.

라. 배출가스 특성

그림 5는 로타리작업시 가스배출이 안정화 되었을 때 경유, BD20, BD100의 배출가스 구성을 보여준다. 예상했던 대로 CO<sub>2</sub>는 탄소분자가 제일 많은 경유가 8.7%로 제일 높았고 BD20은 8%, BD100은 7.8%로 나타났다. SO<sub>2</sub>는 황성분이 없는 BD에서는 측정되지 않았고, NO<sub>x</sub>는 BD100, BD20, 경유 순으로 배출량이 작아졌다. NO<sub>x</sub>는 BD100이 815.1 ppm으로 경유의 776.3 BD20의 775.8 보다 약 5% 더 배출되었고, 이것은 바이오디젤의 분자구성상 경유보다 산소기가 11% 더 포함하고 있기 때문인 것으로 사료된다(Environmental Building

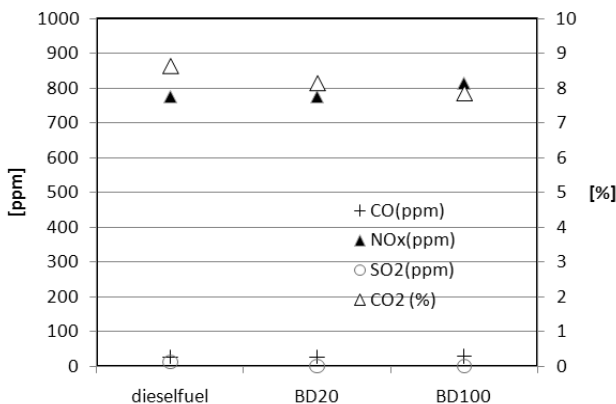


Fig. 5 Major exhaust gases by the fuel kinds.

News. 2003). NO<sub>x</sub> 배출량은 수송용차량엔진과 난방기연소 시스템에서 논란이 되고 있는 문제로 바이오디젤을 사용하는 경우 감소된다는 주장과 증가한다는 주장이 있다(Environmental Building News, 2003). CO 배출량은 26~28 ppm 정도로 나타났지만 연료 간에 차이가 난다고 하기에는 그 차이가 너무 작다고 볼 수 있다. 문헌상으로는 바이오디젤 함량이 높을수록 CO가 줄어든다고 보고되었지만 본 시험에서는 큰 차이가 발견되지 않았고 이는 야외 포장작업에서 정밀계측이 어려웠기 때문인 것으로 사료된다.

마. 바이오디젤의 농작업 적응성

바이오디젤은 친환경 연료로 경유를 대체할 식물성기름으로 이미 선진국 특히 유럽에서는 BD100을 수송용차량, 건설기계 등에 사용하고 있다. 본 시험에서 BD20, BD100의 사용은 아무 문제가 없었다. 시동성도 양호했고, 주행성능도 아무 문제가 없었다. 바이오디젤을 실제로 농업용 트랙터에 적용하는 시험이라 처음에는 연료필터의 막힘현상이나 시동에 문제가 야기될 것이라는 우려도 있었지만 연구소에서 포장로의 이동이나 쟁기나 로타리작업시 갑작스러운 엔진 멈춤 같은 현상은 없었다. 저온에서 바이오디젤의 동점도는 경유보다 높음으로(Kim et al., 2008) 동절기를 지나보지 않고서 시동성을 논의한다는 것은 의미 없는 일이지만 적어도 주요 포장작업시기인 늦은 봄과 초여름에 바이오디젤의 사용이 용이하다고 판단된다. 본 연구와 관련된 바이오디젤의 장기적인 운전시험인 농가현장시험이 따로 진행되고 있다. 그림 6은

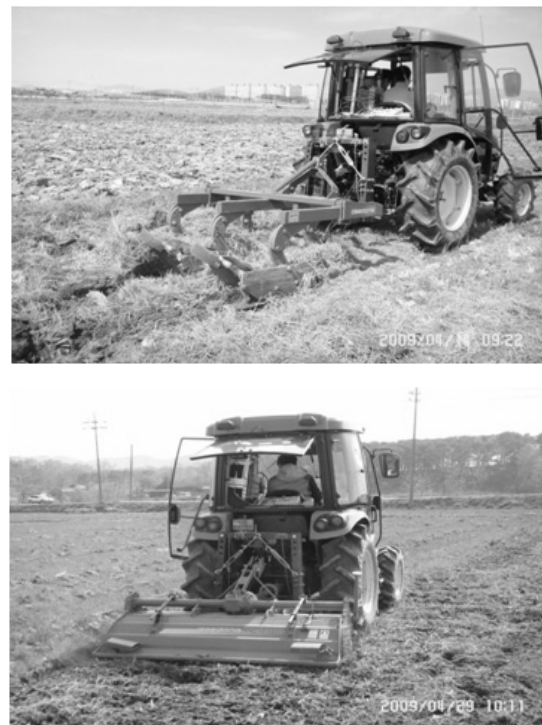


Fig. 6 Views of plowing and rotary tilling operation by biodiesel tractor.

바이오디젤을 트랙터연료로 사용하여 논에서 쟁기작업과 로타리작업을 하는 광경을 나타낸 것이다.

## 5. 요약 및 결론

BD20, BD100, 경유를 연료원으로 하여 트랙터의 PTO성능조사를 하였고, 쟁기작업, 로타리작업 등 농작업특성을 조사하였다. 주요결과는 다음과 같다.

- (1) BD20과 BD100의 PTO 출력은 경유와 거의 같게 나타나 유종별로 PTO 출력은 큰 차이를 보이지 않았다.
- (2) BD를 연료로 하였을 때 시동성과 엔진정지 현상은 발견되지 않았고 쟁기작업과 로타리 포장작업에서도 아무런 문제가 없었다.
- (3) 쟁기작업과 로타리작업에서 BD함량이 많을수록 연료소모량은 더 많았다. 쟁기작업시 BD100과 경유의 연료소모량 차이는 10% 정도로 나타났었고, 로타리작업 연료소모량이 쟁기작업의 연료소모량 보다 더 높게 나왔다. 이 때 연료소모량 차이는 35~40%에 이르렀다.
- (4) 바이오디젤의 배출가스 특성은 CO<sub>2</sub>는 경유보다 적게 배출되었고 NO<sub>x</sub>는 경유보다 다소 많이 배출되었다. CO 차이는 뚜렷하게 나타나지 않았다.

## 참 고 문 헌

1. Environmental Building News. 2003. Biodiesel: A Cleaner, Greener Fuel for the 21st Century 12(1):1-9.
2. Hofman, V. 2003. Biodiesel fuel. NDSU Extension Service, North Dakota State University, Fargo, North Dakota, USA.
3. Jung, S. C., S. H. Park, C. K. Kim, Y. J. Kim, D. H. Im, H. J. Kim, J. S. Lee and H. S. Oh. 2009. Indirect prediction of tractor power and fuel consumption using throttle opening angle and engine RPM. Proceedings of the KSAM 2009 summer conference 14(2):44-49.
4. Kim, Y. J., Y. K. Kang, K. C. Kang and Y. S. Ryou. 2008. Fuel qualities of different biodiesels in the gun type burner. Journal of Biosystems Engineering 33(2):124-129.
5. Lee, C. S., S. W. Park and S. I. Kwon. 2005. An experimental study on the atomization and combustion characteristics of biodiesel-blended fuels. Energy & Fuels 19:2201-2208.
6. Lee, J. S. 2004. Commercialization status and prospects of biodiesel. Journal of Structure 33(10):45-49.
7. Ministry of Agriculture and Forestry. 2003. Development of Technology for the Practical Use of Biodiesel Fuel as a Fuel of the Agricultural Diesel Engine. Final Research Report. Chonbuk National University, Cheongju, Korea.
8. Ministry of Commerce, Industry and Energy. 2006. An Evaluation of Biodiesel on Diesel Vehicle Performance and Endurance. Korea Institute of Energy Research, Daejeon, Korea.
9. Pankl, H., H. Schaufler, H. Lampel, J. Zierfub, A. Burgsteiner and P. Prinz-Hufnagel. 2006. Engine Tests. Final Report, FJ-BLT Wieselburg, Austria.