

# 상용 CRDI 디젤기관에서 바이오디젤유 20% 적용시 내구시험에 따른 배기배출물 특성

최승훈 오영택

## The Characteristics of Exhaust Emissions by Durability Test with Biodiesel Fuel (20%) in a Commercial CRDI Diesel Engine

S. H. Choi Y. T. Oh

### Abstract

A CRDI diesel engine used to commercial vehicle was fueled with diesel fuel and 20% biodiesel blended fuel (BDF 20%) and tested at the Seoul-10 mode for 150 hours. Engine dynamometer testing was completed at regularly scheduled intervals to monitor the engine performance and exhaust emissions. To check the engine parts (valve, injector), the engine was inspected after 150 hours running test. It was concluded that there was no unusual deterioration of the engine, or the changes in engine power (below 1.9%), smoke (below 4.1%), NOx (below 3.7%) and durability characteristics in spite of operation of 150 hours run with BDF 20%. The difference of kinetic viscosity for engine oil (before and after durability testing) was below 0.19% at 100°C.

**Keywords** : Biodiesel fuel, Common rail direct injection, Exhaust emission, Durability

## 1. 서론

디젤 기관은 가솔린 기관과 더불어 동력을 얻을 수 있는 대표적인 열기관으로서 발전을 거듭하여 왔다. 이러한 디젤기관은 높은 열효율을 낼 수 있고, 저급연료를 포함한 여러 종류의 연료를 기관자체의 설계변경없이 사용할 수 있으며, 또한 고출력을 낼 수 있어 농업용 기관의 대다수를 차지하며 그 수요가 증가되는 추세에 있지만, 기관 특성상 연소 후 배출되는 매연과 질소산화물(NOx)로 인하여 대기오염의 주범으로 주목받고 있다.

국내에서는 디젤기관의 대체연료 개발 및 매연저감에 대한 방법으로서 1990년대 중반부터 상용 경유와 합산소연료인 바이오디젤유(Oh et al., 2002; Choi and Oh, 2005)를 혼합하여 사용하는 방법을 선택하고 있으며, 기계적인 분사방식 디젤

기관에서는 바이오디젤유 20%이하의 적용이 안정적이라고 보고되고 있다. 또한, 바이오디젤의 원료인 바이오매스계 연료는 재배시 태양광을 받아 광합성작용을 통한 CO<sub>2</sub>의 저감을 이룰 수 있기 때문에(Crookes, 2006) 지구온난화현상 방지에도 큰 효과를 기대할 수 있는 대체에너지원으로 생각된다. 그러나, 최근 연비개선과 배기배출물 저감측면에서 세계적으로 큰 수효를 보이고 있는 커먼레일(Common rail direct injection) 방식의 디젤기관에 대해서는 바이오디젤유의 적용에 대한 연구가 초기단계에 머물러 있다. 특히, 커먼레일 방식 디젤기관의 주요부품 제조사인 BOSCH 사에서는 5 vol-% 이상의 바이오디젤유를 커먼레일 방식 디젤기관에 적용한 경우 자사 제품에 대한 신뢰성을 보장할 수 없다는 제한 조건을 제시(Choi et al., 2007)하고 있으며, 이는 소비자에게 신뢰성을 줄 수 있는 선행연구들이 적기 때문으로 생각된다. 따라서

본 연구에서는 상용화된 커먼레일 방식 디젤기관에 상용경유 및 대두유 계열의 바이오디젤유 20% 혼합연료(이하 BDF 20%)를 장시간 적용하였을 경우 BDF 20%에 대한 기관 내구성 및 배기배출물 변화 특성을 파악하고 BDF 20%를 장시간 운전시에 대두될 수 있는 문제점 및 적용가능성을 고찰하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

실험에 사용된 기관은 수냉식, 4기통, 4행정, 상용 커먼레일 방식의 디젤기관이며, 기관부하와 기관 회전속도는 엔진 동력계에 의해 임의로 조정할 수 있도록 하였다. 실험에 사용된 기관의 사양은 표 1에 나타내었다. 표 2는 한국석유품질검사소에 의뢰하여 취득한 바이오디젤유의 특성을 경유와 비교하여 나타낸 것이다. 장시간 내구성을 시험하기 위하여 기관 동력계에 장착된 실험용 기관을 이용하여 워밍업이 끝난 상태에서 Seoul-10모드를 적용하여, 150시간이상 BDF 20%를 적용하여 운전하였으며, 기관성능 및 배기배출물을 1시간 간격으로 측정하였다. BDF 20%를 커먼레일 방식 디젤기관에 적용시 배출가스 특성에 미치는 영향을 파악하기 위하여 배기다기관으로부터 300 mm 하류에 매연측정 장치(HBN-1500; Korea)를 사용하여 매연의 농도를 매 1시간마다 3회 반복 측정하여 평균값을 취하였으며, NOx(Nitrogen Oxides)의 측정 은 배기 매니폴드로부터 약 400 mm 하류에서 전기화학적 셀 방식의 배기가스 분석기(Greenline MK 2, Italy)로 일정량의 배기가스를 흡입하여 측정하였다. 또한, 기관이 150cc의 연

Table 1 Specification of test engine

| Item                      | Specification |
|---------------------------|---------------|
| Number of cylinder        | 4             |
| Bore × stroke (mm)        | 83×92         |
| Displacement (cc)         | 1991          |
| Combustion chamber        | Toroidal      |
| Inj. type                 | CRDI          |
| Inj.pressure (Max.) (bar) | 1350          |

Table 2 Properties of test fuel

|                         | Diesel | BDF   |
|-------------------------|--------|-------|
| Calorific value (MJ/kg) | 43.96  | 39.17 |
| Cetane number           | 51.4   | 57.9  |
| Sulfur (wt%)            | 0.05   | 0     |
| Carbon (wt%)            | 85.83  | 76.22 |
| Hydrogen (wt%)          | 13.82  | 12.38 |
| Oxygen (wt%)            | 0      | 11.03 |

료를 소모하는 시간을 측정하여 동일 일에 대한 에너지의 소비율을 알아보기 위하여 단위시간당의 에너지소비율(MJ/kW·h)을 계산하였다. 본 실험에서 적용한 바이오디젤유와 경유의 발열량이 표 2에 나타낸 바와 같이 차이가 발생하기 때문에 편차를 줄이기 위하여 동일 일에 대한 에너지소비율로서 표기하였다.

그림 1은 전체적인 실험장치의 계략도를 나타낸 것이고, 그림 2는 본 실험의 운전모드인 Seoul-10모드를 나타낸 것이며, 실험 수행시 한국에너지기술연구원의 자문을 받았다.

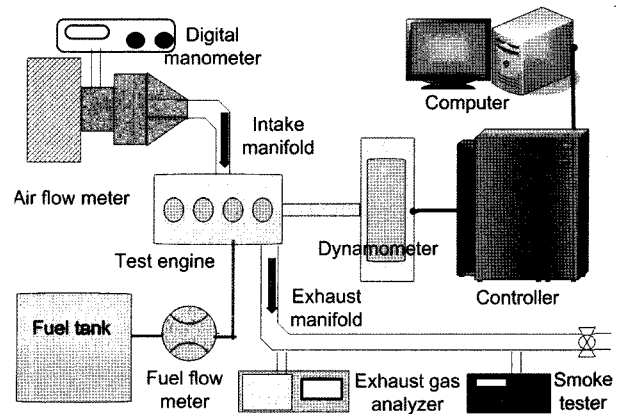


Fig. 1 Schematic diagram.

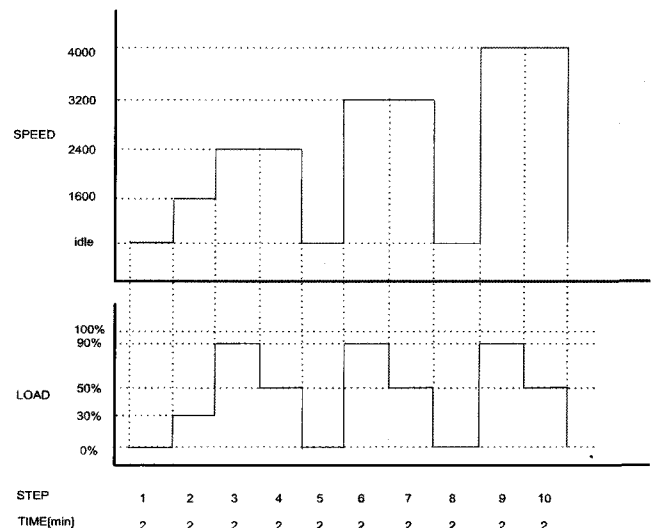


Fig. 2 Engine operating condition of Seoul-10 mode.

## 3. 결과 및 고찰

그림 3은 커먼레일 방식 디젤기관에 바이오디젤유 20 vol-%를 실험연료로 이용하고 Seoul-10모드로 운전하는 동안 기관 운전 시간대별로 출력 특성을 나타낸 것이다. 기관을 150시간 이상 장시간 운전하여도 출력은 1.9%미만의 변화율을 보

이고 있으며, 동일 회전속도 및 부하조건에서 거의 일정한 경향을 보이고 있음을 알 수 있다.

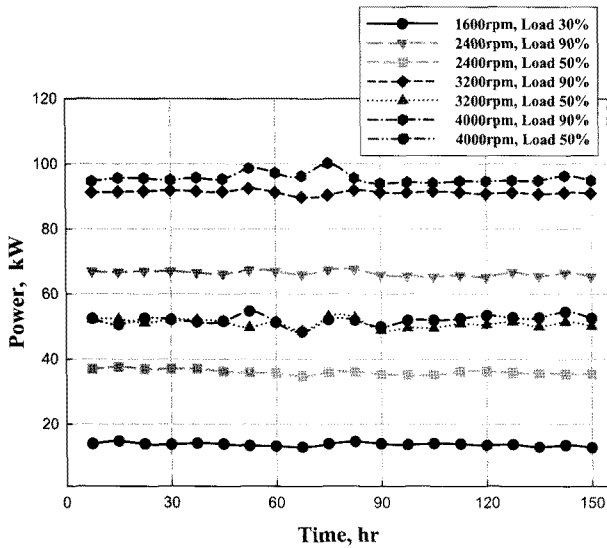


Fig. 3 Power versus engine speeds and loads.

그림 4는 그림 3과 동일한 조건에서 에너지소비율을 시간대별로 나타낸 것이다. 각 회전속도 및 부하조건에서 장시간 운전하여도 출력 특성과 같이 에너지소비율 또한 일정한 패턴을 유지하고 있음을 알 수 있으며, 2% 미만의 변화율을 유지하고 있음을 알 수 있다. 디젤기관은 고온으로 압축된 공기에 연료를 분사하여 자기 착화하는 연소방식으로 연료의 분무거동과 미립화가 매우 중요한 인자이다. 바이오디젤은 동점도가 경유보다 높아 일정 혼합비 이상에서는 연료와 노즐 표면의 마찰력이 증가하여 분사속도가 낮아지고, 분무 도달 거리가 짧아지며 연료의 미립화에 악영향을 미치는 것으로 알려져 있다(최 등, 2007). 즉, 이는 미립화의 악영향에 기초한 출력과 에너지소비율의 악화를 의미한다. 그러나, 본 실험

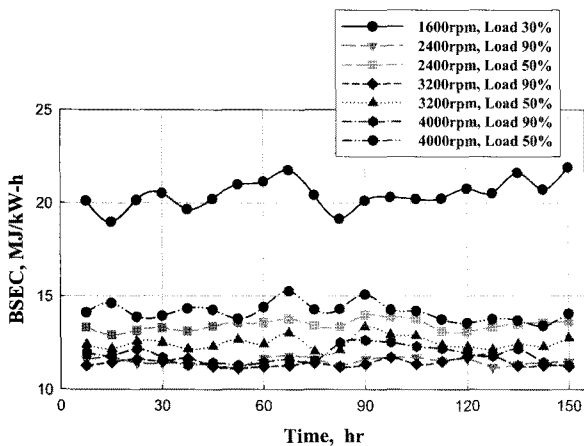


Fig. 4 BSEC versus engine speeds and loads.

에서는 그림 3과 그림 4에 나타난 바와 같이 BDF 20%를 적용하여 변화되는 운전영역에서 장시간 운전하여도 출력과 에너지소비율 모두 2%미만의 변화율을 보여 BDF 20%가 커먼 레일방식 디젤기관의 연료 분사에 악영향을 미치지 않음을 확인할 수 있다.

그림 5는 BDF 20%를 사용할 경우 매연의 배출 농도를 시간대별로 나타낸 것이다. Seoul-10모드를 사용하여 150시간 이상 장시간 운전하여도 운전시간 전 영역에서 거의 일정한 매연 배출 특성을 보이고 있으며, 고회전속도, 고부하영역을 제외한 전 운전영역에서 매연이 거의 배출되지 않음을 알 수 있다. 이는 바이오디젤유내에 함유된 산소성분의 영향으로 연소시 바이오디젤유내의 산소성분이 연소실내의 국부적인 산소부족현상 해결에 기여하기 때문(Oh and Choi, 2002)으로 생각된다.

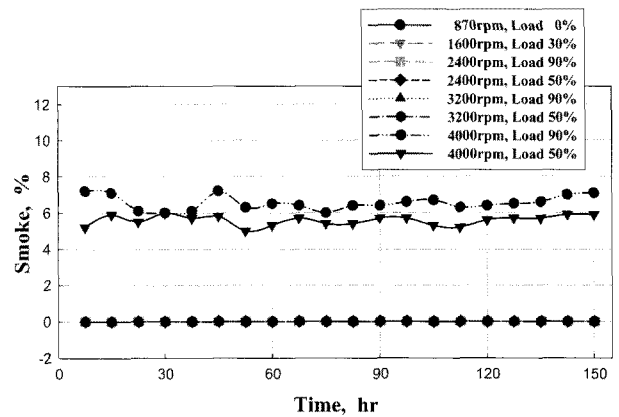


Fig. 5 Smoke versus engine speeds and loads.

그림 6은 동일 실험 조건에서 BDF 20%를 연료로 사용한 경우 NOx의 배출 농도를 운전 시간대별로 나타낸 것이다. 매연의 배출 특성과 같이 운전시간 전 운전영역에서 일정한 NOx의 배출 특성을 나타내고 있으며, 전체적인 실험에서 3.7%미

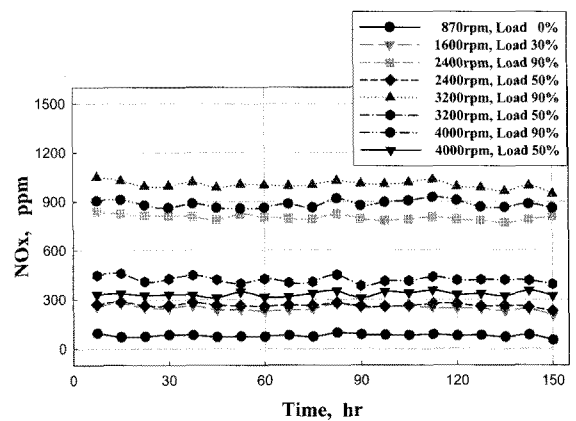


Fig. 6 NOx versus engine speeds and loads.

만의 변화율을 보여 안정적인 상태로 커먼레일 방식 기관의 연소가 이루어지고 있음을 알 수 있다.

그림 7은 BDF 20%로 장시간 운전한 후 인젝터 팁의 카본 고착 상태를 파악하기 위하여 실험을 종료한 후 분사노즐을 분리하여 인젝터 팁 상단부를 50배 확대하여 찍은 사진들이다. 그림에서 나타난 것과 같이 BDF 20%를 사용한 결과 인젝터 팁주위에 카본의 고착현상은 거의 없었다. 따라서, 기관 출력 및 배기가스 배출 특성이 BDF 20%로 장시간 운전하여도 전체적으로 균일하고, 유사한 경향을 보인 것은 통상 인젝터 팁 부분에 형성되는 카본의 양이 적어 분무의 미립화에 영향을 미치지 않았기 때문으로 생각된다.

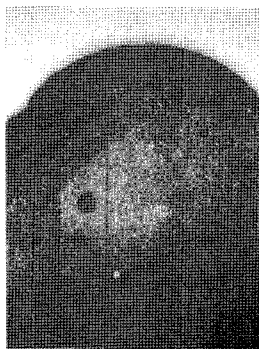


Fig. 7 Photographies of injector tip after durability test.

그림 8은 그림 7과 동일한 조건에서 실린더와 피스톤의 카본 고착현상을 파악하기 위하여 기관을 분해 후 촬영한 밸브와 실린더 헤드 사진을 나타낸 것이다. 실린더와 피스톤을 비롯한 각 밸브들을 조사하여 본 결과 연소상태는 양호하였으며, 연소실내에는 전반적으로 카본의 퇴적현상은 나타나지 않았음을 확인하였다.

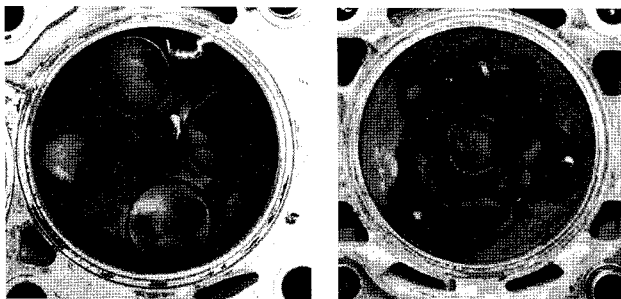


Fig. 8 Photographies of cylinder and valves after durability test.

표 3은 실험 후의 윤활유의 특성변화를 파악하고자 실험 후 엔진 오일을 샘플링하여 한국석유품질검사소에 의뢰·분석하여, 신유와 비교하여 나타낸 것이다. BDF 20%를 실험연료로 사용하여 장시간 운전하여도 윤활유의 특성이 악화되지

않고 동점도를 비롯한 산화안정도가 양호하게 나타났다. 이는 바이오디젤유가 연료 자체에 윤활특성을 갖고 있기 때문에 블로바이가스량이 적고, 따라서 윤활유와 희석량이 적으며, 희석된다고 하더라도 윤활유의 특성을 악화시키지 않기 때문으로 생각된다.

Table 3 Properties of engine oil

| Index                                  |       | New oil | BDF 20% |
|--|-------|---------|---------|
| Water content (vol%)                   |       | 0.18924 | 0.28997 |
| Flash point, COC (°C)                  |       | 220.0   | 230.0   |
| Kinetic viscosity (mm <sup>2</sup> /s) | 40°C  | 68.03   | 67.04   |
|  | 100°C | 10.96   | 10.94   |
| Viscosity index                        |       | 152     | 155     |
| Viscosity ratio                        |       | 0.98    | 1.01    |
| Apparent viscosity, 20°C (P)           |       | 30.70   | 30.60   |
| Pour point (°C)                        |       | -30.0   | -32.0   |

#### 4. 요약 및 결론

커먼레일 분사방식 디젤기관의 대체연료로서 바이오디젤유 20%를 상용경유와 혼합하여 연료로 적용하고, Seoul-10 모드를 이용하여 150시간의 장시간 운전 시험을 하였을 경우 기관성능 및 배기가스 배출특성, 기관부품의 변화 상태, 윤활유의 특성을 조사한 결과는 다음과 같다.

- (1) BDF 20%를 사용하여 장시간 운전한 결과 출력, 에너지소비율, 배기배출물이 동일 회전속도 및 부하조건에서 일정한 경향을 보였다.
- (2) BDF 20%를 사용하여 장시간 운전하여도 기관부품에 큰 영향을 미치지 않아 기관에 대한 바이오디젤유의 신뢰성을 확인할 수 있다.
- (3) BDF 20%를 사용하여 장시간 운전한 후 엔진 오일을 분석한 결과 바이오디젤유의 윤활특성이 양호한 관계로 윤활유의 특성이 악화되지 않음을 확인할 수 있다.

위에서와 같이 BDF 20%를 상용 커먼레일 방식 디젤기관에 적용할 경우 기관 성능 및 배기배출물에 큰 변화가 없어 대체연료로서 가능성을 확인할 수 있었다.

#### 참고 문헌

1. Choi, S. H. and Y. T. Oh. 2005. Experimental study on emission characteristics and analysis by various oxygenated

- fuels in a DI diesel engine. *Transaction of International Journal of Automotive Technology* 6(3):197-203.
2. Choi, S. H., Y. T. Oh and G. H. Kim. 2007. Characteristics of durability and emission with biodiesel fuel (5%) in a common rail direct injection diesel engine at SEOUL-10 mode. *Journal of Biosystems Engineering* 32(2):97-101.
  3. Crookes, R. J. 2006. Comparative bio-fuel performance in internal combustion engines. *Biomass & Bioenergy* 30:461-468.
  4. 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.
  5. Oh, Y. T. and S. H. Choi. 2002. A study on characteristics of rice bran oil as an alternative fuel in diesel engine (II). *Transaction of Korea Society of Automotive Engineers* 10(3): 8-17.