

## 바이오디젤 연료가 산업용 디젤 엔진 성능에 미치는 영향

박권하\* · 김주연<sup>1</sup> · 김철정<sup>1</sup> · 고제현<sup>1</sup> · 박홍일<sup>1</sup>

(원고접수일 : 2011년 7월 7일, 원고수정일 : 2011년 9월 6일, 심사완료일 : 2011년 10월 24일)

### The Effect of Bio-diesel Fuel on Industrial Diesel Engine

Kweon-Ha Park\* · Ju-Youn Kim<sup>1</sup> · Chul-Jung Kim<sup>1</sup> · Jea-Hyun Ko<sup>1</sup> · Hong-Il Park<sup>1</sup>

**요약** : 화석연료로부터 배출되는 유해 배기가스를 줄이기 위하여 대체연료기술이 개발되고 있다. 본 연구에서는 바이오디젤연료가 산업용디젤기관의 성능에 미치는 영향을 분석하기 위하여 대두유를 이용하여 연료를 제조하고 이를 엔진에 적용하여 성능시험을 수행하였다. 실험조건은 바이오디젤의 혼합율 0%, 10%, 20%에서 부하조건을 0%, 50% 최대부하까지, 엔진속도를 700rpm에서 1900rpm까지로 하였다. 실험 결과 바이오디젤 첨가율의 증가에 따라 최대토크는 감소하였고, 질소산화물은 약간 증가하였지만 스모크와 일산화탄소는 감소하였다. 이러한 경향은 부하가 증가함에 따라 크게 나타났다.

**주제어** : 바이오디젤, 산업용디젤기관, 엔진성능, 대두유

**Abstract**: An alternative fuel is introduced as an environmentally friendly fuel in order to reduce the toxic emissions from conventional fossil fuels. In this study a bio-diesel fuel is produced and applied into the industrial diesel engine to understand the effect on the performance. The test conditions are loads of idle to maximum torque and engine speeds of 700 to 1900 rpm in bio-diesel blending percents of 0, 10, 20%. The results show that smoke and CO emissions are reduced while NOx is slightly increased, and the effects are rather clear in higher loads.

**Key words**: Bio-diesel, Industrial diesel engine, Engine performance, Soybean oil

### 1. 서 론

최근 화석연료의 사용으로 인한 환경오염 문제와 급격한 연료의 소비 증가로 대체 에너지 개발이 필요한 상황이다.

대체연료인 바이오 디젤은 식물성 유지를 알코올과 반응시켜 생성하는 에스테르화 기름을 말한다. 이것은 석유에서 얻어지는 경유와 특성이 거의 같아 디젤엔진의 개조 없이 기존의 경유와 혼합하거나 대체하여 사용할 수 있고 기존 주유소 인프라도 그대로 활용할 수 있는 재생 가능한 연료이다. 또한, 생분해성이 있고 독성이 없으며 함산소량이 많아 기존의 디젤연료에 비

해 오염물질의 배출, 특히 입자상물질(Particulate Matter)의 배출량이 낮다는 장점이 있다[1]. 최근 연구에 의하면[2-3] 바이오디젤연료는 디젤 엔진에서 유해 배출가스를 줄일 수 있는 효과적인 방법으로 연료중에 산소를 함유하고 있어 일반 화석 연료에 비해 많은 장점을 가지고 있다. 주로 사용되고 있는 바이오 디젤은 경유와 바이오 디젤을 8:2의 비율로 혼합한 BD20이며 50%, 70% 및 순수 바이오 디젤(100%)에 대해서도 활발한 연구가 진행되고 있다[4-6]. 그러나 Eom, Seo 등[7-8]은 바이오 디젤은 저온에서 유동성이 경유에 비해 떨어지기 때문에 상용화에 어려움

\* 교신저자(한국해양대학교 기계에너지시스템공학부, E-mail: khpark@hhu.ac.kr, Tel: 051)410-4367)

<sup>1</sup> 한국해양대학교 대학원 기계공학과

이 있어 에탄올을 첨가하는 연구를 수행하였으며 결과로 저온 유동성의 향상과 입자상물질의 배출저감을 발표하였다.

본 연구에서는 유동점의 향상을 위하여 알코올을 혼합한 바이오디젤연료를 제조하고 산업용디젤 엔진에 적용하여 엔진성능 및 배기배출물에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

## 2. 연료의 제조 및 실험장치

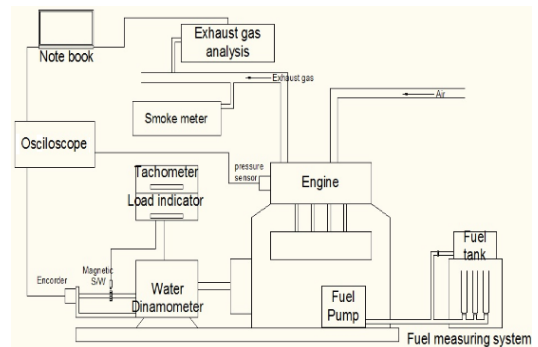
대두유를 이용하여 알코올을 혼합한 바이오디젤 연료를 제조하였다. 메탄올(Methanol)과 수산화나트륨을 1: 0.045 비율로 혼합하여 촉매를 제조 하였으며, 제조된 촉매를 대두유(triglyceride)에 17%첨가한 후에 55℃에서 3시간 교반기로 혼합하여 호일을 섞은 뒤에 6시간이 경과 하도록 하였다. 이 후 바닥에는 글리세린이 가라앉게 되고 윗부분에는 바이오 디젤로 사용되는 에스테르가 남게 된다. 글리세린과 분리된 에스테르는 점성이 높기 때문에 연료로 사용하기 부적합 하다. 따라서 점성을 낮추기 위해서 에스테르에 물을 8.3% 첨가 하였다. 이후 30분 교반기로 혼합하여 바닥에 가라앉는 하얀 물질과 깨끗한 바이오 디젤을 분리 해준다. 이러한 작업을 4회 반복하여 깨끗한 바이오 디젤을 완성 하였다.

실험엔진은 4 실린더, 배기량이 3.3리터이며 압축비 16, 분사타이밍이 상사점전 16도인 산업용 디젤 기관으로 상세한 제원은 **Table 1**과 같다.

**Figure 1**은 실험장치의 구성도이다. 장치는 엔진 속도와 토크제어를 위한 동력계시스템, 연료공급과 측정을 위한 연료공급시스템, 배기계측을 위한 배기시스템과 연소실압력계측시스템으로 크게 구분 된다. 연료계측은 400ml 유리관을 설치하고 그 소모시간을 측정하여 시간당소모량을 계산하였으며, 연소실압력은 Kistler사의 압력센서의 신호를 데이터처리장치(Labview)로 받아들여 분석하였다. 사용한 동력계는 200마력 6000rpm의 Tokyo Plant사의 수동력계이며, 배기측정은 TESTO-330 모델을 사용 하였다.

**Table 1:** Specification of test engine

Type	Turbo diesel engine(D4AK-C)
Cooling method	Water cooler
No. of cyl. & arrangement	4-IN line
Valve mechanism	Overhead valve
Combustion chamber type	Direct injection
Bore× Stroke	100mm× 105mm
Total piston displacement	3,298cc
Compression ratio	16:1
Rated output (KSR 1004)	58.84/2400(kW/RPM)
Peak torque (KSR 1004)	250/1800 (N·m/RPM)
NO-load minimum speed	700~750 RPM
NO-load Maximum speed	2640±20 RPM
Firing order	1-3-4-2
Injection timing	16 ° ± 1 ° BTDC



**Figure 1:** Experimental setup

실험조건은 **Table 2**와 같이 바이오디젤을 전혀 첨가하지 않은 BD0, 10%첨가한 BD10과 20% 첨가한 BD20의 3가지 경우로 하였다. 모든 경우에 대하여 부하를 0%(Idle), 50%, 100%(Max), 엔진 속도를 700, 1000, 1300, 1600, 1900rpm로 변화하며 실험을 수행하였다.

**Table 2:** Test condition

Test Cases	Fuel	Torque (%)	Engine Speed (rpm)
BD0	Diesel 100% + BD 0%	0(Idle) 50 100(Max)	700,1000 1300,1600,1900
BD10	Diesel 90% + BD 10%		
BD20	Diesel 80% + BD 20%		

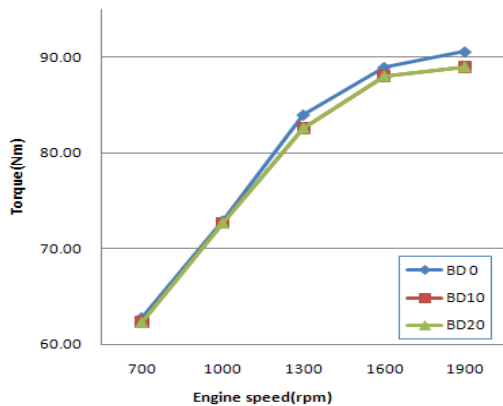
### 3. 실험결과 및 고찰

순수 디젤 연료 BD0, 바이오디젤을 10%혼합한 BD10과 20%혼합한 BD20을 사용한 산업용디젤기관의 엔진성능실험의 결과는 다음과 같다.

#### 3.1 최대토크

Figure 2는 바이오디젤 연료 함유량이 0%, 10%, 20%인 BD0, BD10, BD20에 대한 최대토크 변화를 나타낸 그래프이다.

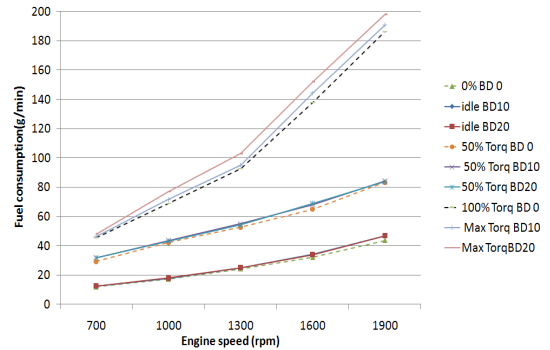
700rpm에서 최대토크의 변화는 거의 없었으며 1000rpm에서는 최대 0.33%, 1300rpm에서 1.69%, 1600rpm에서 1.08%, 1900rpm에서 1.816%의 최대토크 감소를 나타냈다. 바이오디젤이 연소에 미치는 영향은 크게 두 가지로 해석될 수 있다. 연료에 산소를 함유한 합 산소연료이기 때문에 농후한 영역에서 연소를 활성화하는 효과와 디젤유에 비해 적은 발열량의 영향으로 연소를 둔화시키는 효과가 있다. 엔진속도가 증가하면서 최대토크가 저감되는 것은 후자의 영향이 큰 것으로 사료된다.



**Figure 2:** Maximum torque variation with BD0, BD10, BD20

#### 3.2 연료 소모량

Figure 3은 분당연료소모량의 변화를 나타낸다. 무부하와 50% 부하에서는 모든 엔진속도에서 큰변화가 없다. 그러나 최대부하에서 10% 바이오디젤을 혼합한 BD10의 경우에 3% 내외의 연료소모량 증가가 있었으며 BD20의 경우 7%가 증가되었다. 이는 바이오디젤의 낮은 발열량에 기인한 것으로 생각된다.



**Figure 3:** Comparison of fuel consumptions at BD0, BD10, BD20

#### 3.3 p-θ선도

Figure 4-6은 각각 700, 1300, 1900rpm에서 최대토크일 때의 크랭크 각도에 대한 실린더 압력의 변화를 나타낸다. 피스톤이 상승하면서 실린더압력이 증가되는데 상사점근처에서 증가율이 급격히 감소된다. 이점이 연료분사시점이며 분사된 연료가 증발되면서 증발잠열에 의하여 연소실온도가 저감되고 압력이 낮아진 결과이다. 이후 급격한 압력상승이 시작되는데 이점이 착화시점이다. 모든 경우에 유사한 변화경향을 나타내지만 BD10의 경우가 착화시점이 다른 경우보다 빠른 것을 보여준다. 이는 10%를 혼합한 경우에 세탄가가 증가되어 착화 지연시간이 줄어든 것으로 생각되며 20%혼합의 경우는 이러한 효과가 줄어든 것으로 생각된다. 최대압력은 BD0, BD10, BD20의 순으로 낮아진다. 이는 바이오디젤이 산소를 함유하고 있어 양호한 연소가 가능하지만 바이오디젤의 발열량이 낮아 혼합율의 증가와 함께 실린더압력 상승량이 저감되었기 때문으로 생각된다.

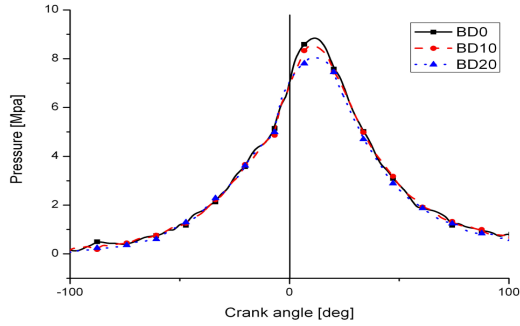


Figure 4: Cylinder pressure and crank angle at 700rpm Maximum Torque

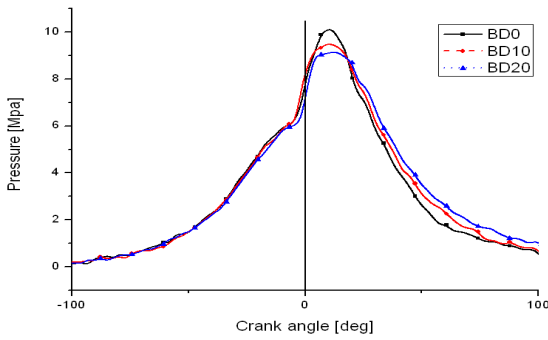


Figure 5: Cylinder pressure and crank angle at 1300rpm Maximum Torque

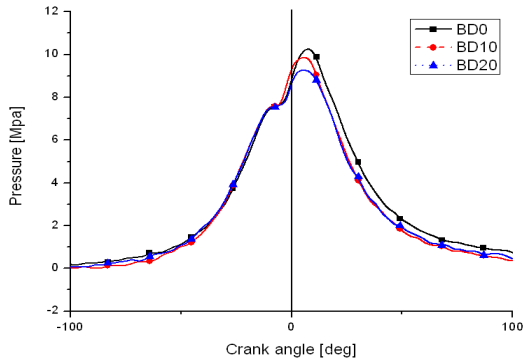


Figure 6: Cylinder pressure and crank angle at 1900rpm Maximum Torque

### 3.4 배기가스

#### 3.4.1 스모크

Figure 7은 바이오디젤연료 함유량 (BD0, BD10, BD20) 변화시, 회전수, 토크변화에 따른 스모크의 변화량을 나타낸 그래프이다.

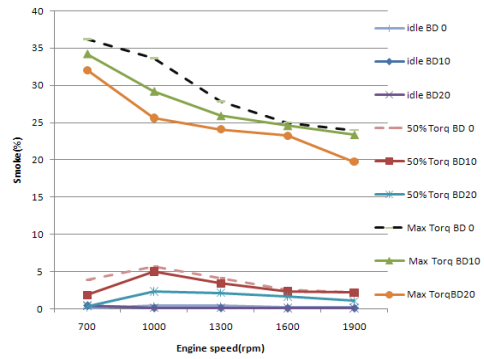


Figure 7: Comparison of smoke emissions in the cases of BD0, BD10, BD20

무부하의 경우에는 매우 낮은 스모크 배출량으로 큰 변화를 보이지 않았다. 그러나 50%, 100% 부하의 경우는 모든 영역의 엔진속도에서 매우 큰 저감특성을 나타낸다. BD10의 경우 50%부하에서 평균 10.8%가 저감되었으며 최대부하에서는 6.0% 저감되었다. 20%혼합인 BD20의 경우 50% 부하에서 48.5%, 최대부하에서 15.5%의 저감효과를 나타낸다. 그 이유는 바이오디젤에 함유된 산소가 공기가 부족한 과농한 영역의 연소를 활성화했기 때문으로 사료된다.

#### 3.4.2 일산화탄소

Figure 8는 바이오디젤연료 함유량 (BD0, BD10, BD20)변화시 회전수, 토크변화에 따른 일산화탄소 농도변화를 나타낸다.

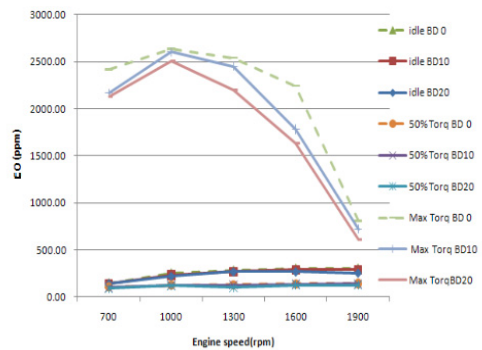


Figure 8: Comparison on CO emissions at BD0, BD10, BD20

무 부하와 50%부하의 경우 일산화탄소 배출량이 매우 적으며 바이오디젤의 영향도 크지 않았다. 하지만 최대토크에서는 합 산소연료인 바이오디젤의 연소 활성화에 의하여 많은 저감특성을 나타내는데 BD10에서 평균 9.67%, BD20에서 16.4%의 저감률을 보였다. 특히 1600rpm, 1900rpm구간에서 각각 15.8%, 25.8%의 저감률을 보였는데 이는 바이오디젤의 합 산소성에 기인한 연소의 활성화가 고부하, 고속에서 두드러져 일산화탄소 저감에 크게 기여한 것으로 사료된다.

### 3.4.3 질소산화물

Figure 9는 바이오디젤연료 함유량(BD0, BD10, BD20)변화시 회전수, 토크변화에 따른 질소산화물의 변화량을 나타낸 그래프이다. 무부하에서는 큰 변화를 보이지 않았고, 토크50%의 경우 BD10에서 3.86%, BD20에서 6.29%의 증가를, 최대토크의 경우 BD10에서 2.47%, BD20에서 7.69% 증가되었다.

이는 전술한 바와 같이 바이오디젤 첨가에 따른 산소농도가 증가되어 질소산화물의 생성을 촉진시킨 것으로 사료된다.

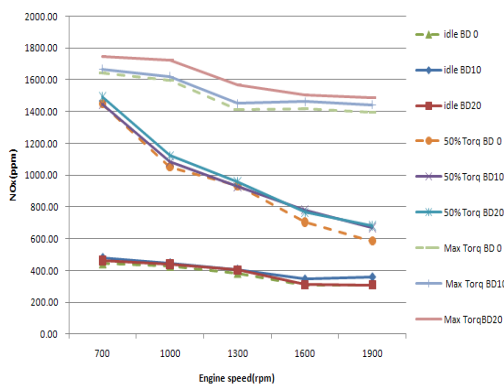


Figure 9: Comparison of NOx emissions at BD0, BD10, BD20

## 4. 결 론

유동점의 향상을 위하여 알코올을 혼합한 바이오디젤연료를 제조하고 산업용디젤엔진에 적용하여 엔진성능 및 배기배출물에 미치는 영향을 분석한 결과는 다음과 같이 요약된다.

1. 최대토크: 저속에서는 최대토크의 변화가 거의 없었지만 엔진속도의 증가와 함께 저감되었다.

2.연료소모량: 무부하와 중부하에서는 큰 변화가 없었지만 최대부하에서는 BD10의 경우 3%, BD20의 경우 7%가 증가되었다.

3.실린더 압력: 전체적인 압력변화 곡선의 특성은 유사하지만 바이오디젤 혼합율이 증가하면서 최대압력이 낮아졌으며, BD10의 경우 착화지연기간이 소량 감소되었다.

4.스모크: 50% 부하에서 매우 큰 저감효과가 있었으며 최대부하의 경우도 10% 바이오디젤혼합에서 5.98%, 20% 바이오디젤혼합에서 15.47%의 저감효과가 있었다.

5.일산화탄소: 무부하, 토크50% 구간에서는 큰 변화를 보이지 않았지만 최대부하에서 BD10의 경우 9.67%, BD20의 경우 16.40%가 저감되었다.

6.질소산화물: 무부하 영역에서는 큰 변화를 보이지 않았고, 최대부하에서 BD10의 경우 2.47%, BD20의 경우 7.67% 증가되었다.

## 참고문헌

- [1] 차준표, 박수환, 이창식 “DME-바이오디젤 혼합 연료의 분무 및 배기 특성에 관한 연구” 대한기계학회지 제35권, 제1호, pp. 67-73, 2011.
- [2] 한만배 “대두유 바이오 디젤연료가 압축 착화 연소에서 배기가스에 미치는 영향” 대한기계학회지 제 34권, 제 10호, pp. 941-946, 2010.
- [3] S.-H. Kim and D.-R. Lee, “Numerical investigation of thermo-fluid flow for improvement of micro-dilution chamber on particulate deposition,” Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 33, no. 5, pp. 637-645, 2009.
- [4] G. S. Choi and C. S. Kim, “Linear stable systems,” IEEE Trans. of Automatic Control, vol. 33, no. 3, pp. 1234-1245, 1993.
- [5] 임재근, 최순열, 조상곤, “직접분사식 디젤기관에서 디젤유와 바이오디젤 혼합유의 연소특성에 대한 비교 연구” 한국동력기계공학회지 제 13권, 제6호, pp. 29-34, 2009.

- [6] 김재덕, 송규근, 정재연, 김형근, “디젤 및 바이오 디젤 연료의 분무특성에 관한 연구”, 한국마린엔지니어링학회지, 제35권, 제1호, pp. 53-59, 2011.
- [7] D.S. Eom, Y.S. Choi, Y.S. Cho, Y.S. Cho and S.W. Lee, “Spray and combustion characteristics of biodiesel-ethanol blending fuel”, KSAE, vol. 17, no. 3, pp. 1-7, 2009.
- [8] Y.T. Seo, H.K. Suh, S.H. Bang and C.S. Lee “A study on the injection characteristics of biodiesel fuels injected through common-rail injection system”, Fall Conference Proceedings, KSAE, vol. 15, no. 5, pp. 570-575, 2006.



**박홍일(朴洪鎔)**

2004년 한국해양대학교 대학원 졸업(석사), 현재 동 대학원 박사과정, 현재 롯데자동차직업전문학교 교장.

**저 자 소 개**



**박권하(朴權夏)**

1995년 UMIST(맨체스터대학) 대학원 기계공학과 졸업(박사), 1995 - 1998년 한국기계연구원 엔진환경연구부 선임연구원, 1998 - 현재 한국해양대학교 기계에너지시스템공학부(교수), 관심분야: 내연기관



**김주연 (金周連)**

2011년 한국해양대학교 기계정보공학부(공학사), 2011 - 현재 한국해양대학교 대학원 기계공학과 석사 과정, 관심분야: 내연기관



**김철정 (金澈正)**

2011 - 현재 한국해양대학교 대학원 기계공학과 석사과정, 관심분야: 내연기관



**고제현(高製賢)**

2011 - 현재 한국해양대학교 대학원 기계공학과 석사과정, 관심분야: 내연기관