

# 직접 분사식 디젤기관에서 바이오디젤유의 적용에 관한 실험적 연구

오 영 택\* · 최 승 훈\*\*

## An Experimental Study on Application of Biodiesel Fuel in Direct Injection Diesel Engine

Y.T. Oh and S.H. Choi

Key Words: Oxygenated fuel(함산소연료), Alternative fuel(대체연료), Biodiesel fuel(바이오디젤유), Diesel engine(디젤기관), Gas chromatography(가스 크로마토그래피)

### Abstract

Because the exhaust emissions from automobiles are increased, our environment is faced with very serious problems related to the air pollution in these days.

In particular, the exhaust emissions of diesel engine are recognized main cause which influenced environment strong.

Lots of researcher have been attempted to develop various alternative fuel on purpose to reduce these harmful emissions.

In this study, the potential possibility of esterified rice bran oil which is a kind of biodiesel fuel was investigated as an alternative fuel for diesel engine.

And, we tried to analysis not only total hydrocarbon but hydrocarbon components from C<sub>1</sub> to C<sub>6</sub> in exhaust gas using gas chromatography to seek the reason for remarkable reduction of exhaust emission.

Individual hydrocarbon(C<sub>1</sub>~C<sub>6</sub>) as well as total hydrocarbon of biodiesel fuel is reduced remarkably than that of diesel fuel in this experiment.

### 1. 서 론

연소라는 화학적인 반응을 이용하여 열에너지를 기계적 에너지로 변환하여 동력을 얻을 수 있는 대표적인 기구로서 각종 내연기관은 발전을 거듭하여 왔으며, 이 중에서도 디젤기관은 높은 열효율을 낼 수 있고, 저급연료까지도 사용할 수 있어 그 수요가 증가되는 추세에 있지만, 기관 특성상 연소 후 배출되는 매연으로 인하여 전 지구촌적인 대기오염의 주범으로 주목받고 있다.

이러한 디젤기관의 배기배출물을 저감시키고, 유한 자원인 석유계 연료의 대체연료로서 식물유에 관한 연구들이 많이 진행<sup>(1)</sup>되고 있으며, 이미 브라질 등의 국가에서는 알콜계 연료를 이용한 차량이 실용화되고 있다.

식물성 기름에서 주로 생산할 수 있는 바이오디젤유(B.D.F.: biodiesel fuel)는 미강유등의 디젤엔진의 대체연료로서 화석연료의 소비량을 억제할 수 있고, 매연, 이산화탄소, 미연탄화수소 및 아황산가스 등의 오염물질의 배출량을 현저하게 저감할 수 있는 친환경적인 관점과 이산화탄소 배출량을 규제하는 기후변화협약으로 인해 관심이 고조되고 있다.<sup>(2)</sup>

Murayama 등은 바이오메스 연료의 일종인 고점도의 식용유를 알콜과의 화학반응으로 연료의

\* 정희원, 전북대학교 기계공학과  
자동차 신기술 연구소  
e-mail :ohyt@moak.chonbuk.ac.kr

\*\* 정희원, 전북대학교 대학원

고점도 성분을 감소시키는 에스테르화 방법을 이용<sup>(3)</sup>하여 매연저감 가능성 등을 보고하고 있고, Oh 등은 다종의 합산소연료를 이용한 연구<sup>(4)</sup>에서 합산소연료에 포함된 산소성분이 고부하· 고회전 영역에서 디젤기관의 공기이용율을 높여 매연이 현저히 저감되었음을 보고하고 있으며, 미강유를 에스테르 전환한 바이오디젤유를 디젤기관의 대체연료로 사용할 경우<sup>(5)</sup>, 기관 성능 및 배기가스 배출 특성을 디젤기관의 상용연료인 경유와 비교· 분석하여 바이오디젤유가 디젤기관의 대체연료로서의 이용가능성을 확인하였다.

본 연구에서는 배기가스 저감대책중의 일환으로 합산소연료의 일종인 바이오디젤유를 디젤기관의 대체연료로서 이용할 경우, 각 에미션 배출 특성과 배기가스중의 각 탄소성분이 매연 배출농도에 미치는 영향을 상세하게 조사하고자 하였고, 최적의 혼합율을 설정하며, 배기가스중의 저비등점 탄화수소와 고비등점 탄화수소의 분석을 시도하였다.

연소실내에서 탄화수소는 저급 탄화수소로 열분해되어, 일산화탄소 및 수소를 경유하여 탄산가스 및 수증기로 될 때까지 산화하며, 저급 탄화수소의 일부는 중합하여 원래의 탄화수소보다 고급인 탄화수소로 생성되며, 일반적으로 탄소수가 4이하인 경우를 저비등점 탄화수소로, 5이상인 경우를 고비등점으로 정의하고있다.<sup>(6)</sup>

## 2. 실험장치 및 방법

실험에 사용된 기관은 단기통, 수냉식, 4행정, 직접분사식 디젤기관이며, 기관 부하와 회전속도는 엔진 동력계에 의해 임의로 조정할 수 있도록 하였다.

실험에 사용된 기관의 사양은 Table 1에, 사용된 연료의 특성은 Table 2에 나타내었으며, 실험장치의 개략도는 Fig. 1과 같다.

실험은 일반적인 상용 경유와 합산소연료인 바이오디젤유를 기관의 각 회전속도에서 무부하, 25%, 50%, 75%, 90% 및 전부하의 경우에 기관 성능과 배기에미션을 측정하였다.

매연 농도의 측정은 매연측정장치(HBN-1500)를 사용하여 기관으로부터 300mm 하류에서 일정량의 배기가스를 흡입한 후, 여과지에 흡착된 매연의 농도를 측정하였으며, 매연 농도는 동일 조건에

서 각각 2회 측정하여 평균값을 취하였다.

Table 1 Specification of test engine.

Item	Specification
Engine Model	ND130DIE
Bore × Stroke	95 × 95 (mm)
Displacement	673 (cc)
Compression Ratio	18
Combustion Chamber Type	Toroidal
Injection Timing	BTDC 23° CA
Coolent Temp.	80 ± 2°C

Table 2 Properties of test fuels.

	Gas Oil	B.D.F. (biodiesel fuel)
Flash Point (°C)	40	178
Kinematic Viscosity (40°C, cSt)	1.9~5.5	4.182
pour Point (°C)	0	-2.5
Caloric Value(kcal/kg) [MJ/kg]	10,500 [43.96]	9460 [39.61]
Cetane Number	45	57
Sulfur(Wt%)	0.05	0
Carbon(Wt%)	86.76	77.25
Hydrogen(Wt%)	13.05	11.83
Oxygen(Wt%)	0	10.50

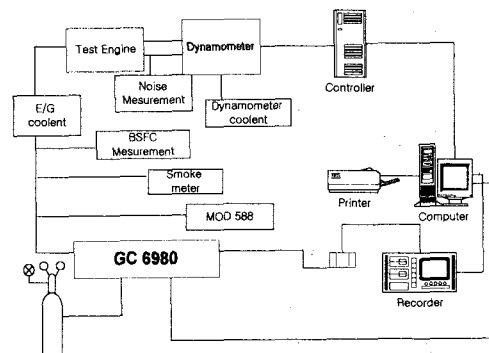


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus.

NO<sub>x</sub>의 측정은 배기 매니폴드로부터 약 400mm 하류에서 배기가스 분석기(Mod. 588)로 일정량의 배기가스를 흡입하도록 하였으며, 탄화수소 성분의 측정을 위하여 150mm 하류에서 배기가스 샘플링을 실시하였다.

실험연료는 경유와 바이오디젤유 및 바이오디젤유를 20, 40, 60, 80% 혼합한 연료로 실험하여 비교하였으며, 가스 크로마토그래피를 이용한 탄화수소류의 분석 실험에서는 바이오디젤유 20%

를 최적의 혼합율로 설정하여 분석하였으며, 크로마토그램의 비교를 위하여 상용경유와 바이오디젤유 100%를 사용한 경우를 분석하였다.

배기가스 성분측정을 위한 가스 크로마토그래피의 사양은 Table 3에 표시하였으며, 실험은 기관의 각 회전속도에서 무부하, 25%, 50%, 75%, 90% 및 전 부하의 경우 가스 크로마토그래피를 통하여 나타난 크로마토그램의 피크 면적을 비교하여 각 탄화수소가 매연농도에 미치는 영향을 조사하였다.

Table 3 Condition of GC for C<sub>1</sub> ~ C<sub>6</sub>.

GC	Hewlett Packard 6890GC
Column	HP-PLOT/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 30m×0.53mm×15.0μm film thickness
Carrier	He, 3ml/min constant flow
Oven	30℃ for 7.5min, Programmed at 20℃/min to 180℃
Injector	Split (15:1), Inlet 250℃
Detector	FID, 250℃

본 실험에서 사용한 가스 크로마토그래피는 정확한 정량적인 측정을 위하여, 50cc의 주사기로 배기관으로부터 직접 배기가스를 채취하여, 밸브에 연결된 관을 통하여 강제 흡입시키면 적정량만 컬럼안으로 들어가고, 나머지는 밖으로 벤트(vent) 라인을 통하여 배출되는 가스채취밸브를 이용하여 시료가스를 주입하였다.

이 때, 배기가스내의 성분이 주사기에 응축되는 것을 피하기 위하여, 주사기는 100℃이상의 항온조에 보관하여 사용었다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 바이오디젤유의 기관실험

Fig. 2는 전부하시 기관 회전속도가 변화할 때 기관 출력특성의 변화를 나타낸 그림이다.

그림에서와 같이 모든 연료 공회 전 회전범위에 걸쳐 기관 출력특성은 거의 유사함을 알 수 있다. 이는 바이오디젤유를 기관의 연료로 사용할 경우에, 바이오디젤유의 발열량이 경유의 것에 비해 약 10%정도가 낮지만, 합산소성분의 영향에 기인한 열효율의 향상으로 기관출력에는 그 차이가 거의 없는 것으로 생각된다.

Fig. 3은 기관의 부하가 25%, 50%와 전부하시에 경유와 바이오디젤유, 20%바이오디젤유를 혼합한 경우에 매연의 배출특성을 각 회전수에 따라서 나타낸 그림이다.

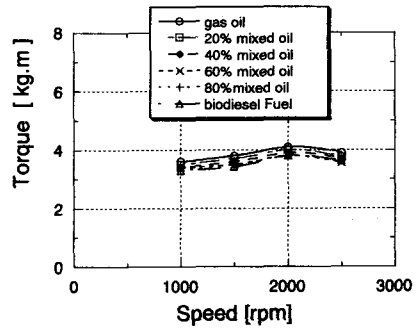


Fig. 2 Performance of torque at full load.

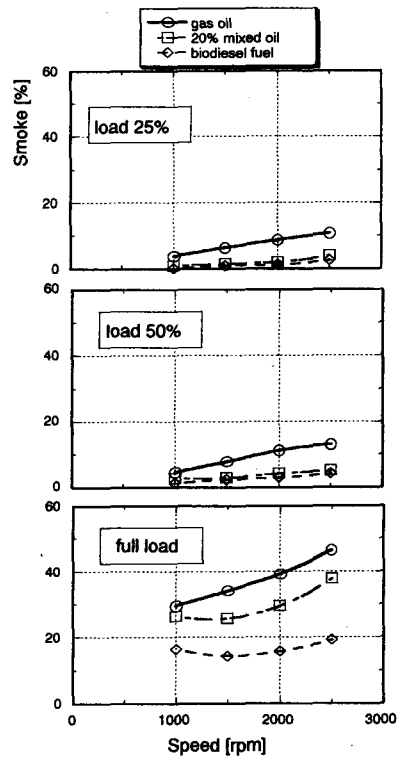


Fig. 3 Comparison of smoke density of gas oil, biodiesel fuel and 20% mixed fuel at varying engine load and speed.

그림에서, 저부하인 경우에 있어서도 전체적인 매연의 배출경향이 경유를 사용한 경우보다 바이오디젤유와 바이오디젤유를 20% 혼합한 경우가 소량배출됨을 알 수 있으며, 고회전·고부하로

진행할수록 매연생성이 현저하게 저감하는 추세를 보이고 있음을 알 수 있다.

Fig. 4는 Fig. 3과 동일한 조건에서, 기관 회전수와 부하 변화에 따른 에너지 소비율을 나타낸 그림이다.

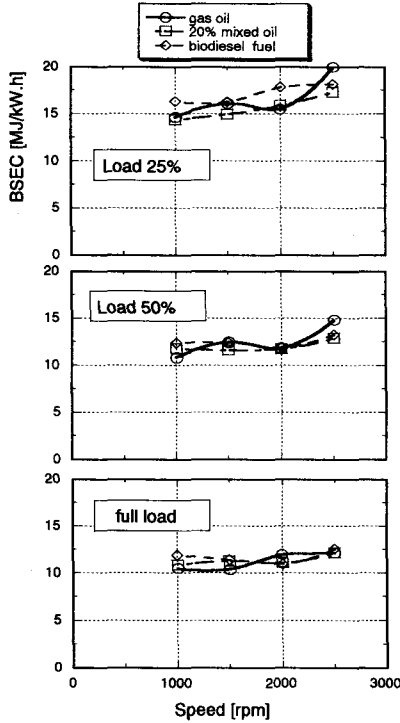


Fig. 4 Comparison of BSEC of gas oil, biodiesel fuel and 20%mixed fuel at varying engine load and speed.

전체적으로 각 연료의 에너지 소비율은 거의 동일한 경향을 나타내었으며, 고부하·고회전영역에서는 바이오디젤유의 발열량이 낮음에도 불구하고, 거의 동일하거나 약간 개선이 되는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 5는 기관의 부하변화에 따른 NOx의 배출특성을 기관 회전수별로 나타낸 그림이다.

그림에서와 같이 NOx의 배출특성은 경유보다 바이오디젤유의 경우가 전체적으로 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 저부하·저회전 영역에서의 배출량의 차이보다 고부하와 고회전 영역에서의 배출량의 차이가 약간 증가하였는데, 이는 바이오디젤유에 포함된 10% 정도의 산소성분에 의한 연소효율 향상으로 연소실내의 온도를 높여주어 NOx의 증가를 가져온 것으로 생각된다.

그러나, 전체적인 매연저감 효과와 비교하여

볼 때, 그 증가추이는 미미한 것으로 생각된다.

위와 같은 기관 실험 결과, 탄화수소의 각 성분이 매연배출에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 배기가스 성분을 가스 크로마토그래피를 사용하여 C<sub>1</sub>~C<sub>8</sub>까지의 성분을 분석하였다.

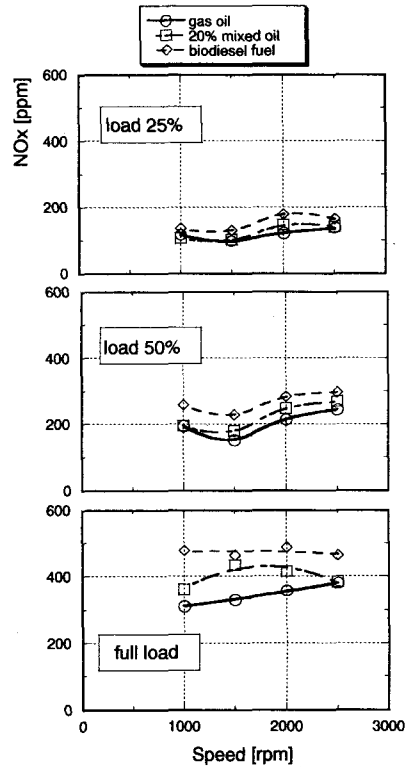


Fig. 5 Comparison of NOx concentration of gas oil, biodiesel fuel and 20%mixed fuel at varying engine load and speed.

### 3.2 가스 크로마토그래피를 이용한 배기가스의 농도분석 실험

Fig. 6은 1000, 1500, 2000, 2500rpm의 각 기관 회전속도에서 경유와 바이오디젤유 및 바이오디젤유를 20%혼합하여 사용한 경우에 탄화수소 분석결과로서 크로마토그램상에 나타난 각각의 피크면적을 보여주고 있다.

그림에서 알 수 있는바와 같이, 고회전과 고부하로 갈수록 탄화수소의 배출농도는 현저히 증가함을 알 수 있다.

그림에서와 같이 75%이상의 고부하에서는 가장 탄화수소 배출량이 많은 2500rpm의 경우에 바이오디젤유와 바이오디젤유를 20% 혼합한 경우

의 배출되는 탄화수소량이 비교적 저속인 1500 rpm의 경우의 경유를 사용한 경우 배출되는 탄화수소량보다도 훨씬 적게 배출됨을 알 수 있다.

이는 중부하 이하인 경우에는 경유를 연료로 사용한 경우에도 공기이용률이 충분하기 때문에 바이오디젤유속의 산소성분이 매연 생성에 큰 영향을 미치지 않았으나, 고부하·고회전수로 갈수록 바이오디젤유 자체에 포함된 산소성분 때문에 공기이용률이 경유의 경우와 큰 차이를 보여, 연료 입자의 산화를 더욱 촉진시켜 매연생성에 영향을 미치는 미연탄화수소의 전체적인 양이 크게 저장되었기 때문으로 생각된다.

Fig. 7은 각각의 연료를 사용하여 0, 50, 75, 90 및 100%의 부하의 경우 회전속도 변화에 따른 탄화수소량의 배출특성을 나타내고 있다.

모든 회전범위에 걸쳐서 경유의 경우보다 바이오디젤유 및 혼합연료를 사용한 경우에 탄화수소의 면적비가 현저하게 작으며, 특히, 고부하로 갈수록 그 차이가 확실하게 나타남을 알 수 있다.

특히, 경유의 경우 75%이상의 고부하의 경우 기관 회전수가 증가함에 따라 탄화수소량이 갑자기 현격하게 증가됨을 확인할 수 있었으나, 바이오디젤유를 사용한 경우에는 부하변화에 따른 탄화수소 배출특성이 큰 차이를 보이지 않고 있음을 알 수 있다.

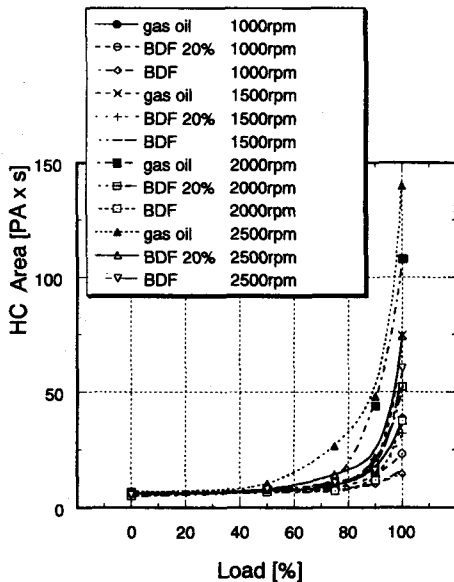


Fig. 6 Total area of hydrocarbon of each fuel on chromatogram analysis under varying engine speed and load.

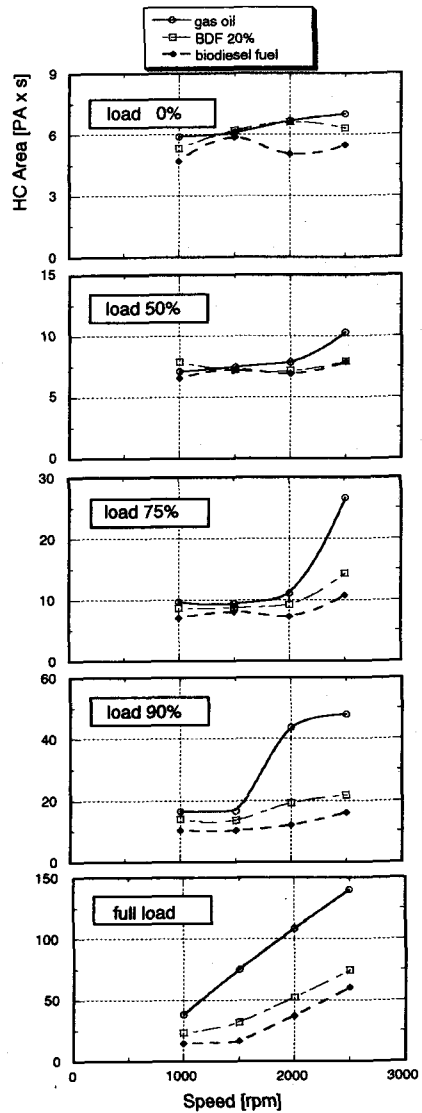


Fig. 7 Total area of hydrocarbon on chromatogram analysis under varying engine load.

이는 2000rpm과 2500rpm의 고회전영역에서는 피스톤의 회전속도가 증가함에 따라 충전효율의 저하로 인해 연소에 필요한 공기가 연소실내로 충분히 공급되지 못하지만, 바이오디젤유를 사용한 경우에는 바이오디젤유속에 포함된 산소성분이 연소에 필요한 부족분을 상당부분 공급하여 미연탄화수소 성분의 산화를 더욱 촉진시키는 것으로 생각된다.

Fig. 8은 전부하상태의 개별탄화수소를 분석한 경우로서, C<sub>1</sub>(methane)을 제외한 모든 경우에 있

어서 경유의 경우가 현저하게 증가하는 추세를 보이고 있다.

NMOG의 관점에서 전부하 2500rpm의 회전속도에서 경유의 경우와 바이오디젤유를 20%만 혼합한 경우를 살펴보면, C<sub>2</sub>의 경우는 74.4%, C<sub>3</sub>는 63.6%, C<sub>4</sub>는 53.9%, C<sub>5</sub>는 50.2%, C<sub>6</sub>는 43.7%가 저감되고 있음을 알 수 있으며, 바이오디젤유만을 사용한 경우는 더욱 현저한 저감을 보이고 있음을 알 수 있다.

이는 Fig. 3의 전체적인 매연배출특성과 유사한 관계를 보이고 있어 매연배출농도에 고비동점 탄화수소의 영향이 크다는 것을 알 수 있다.

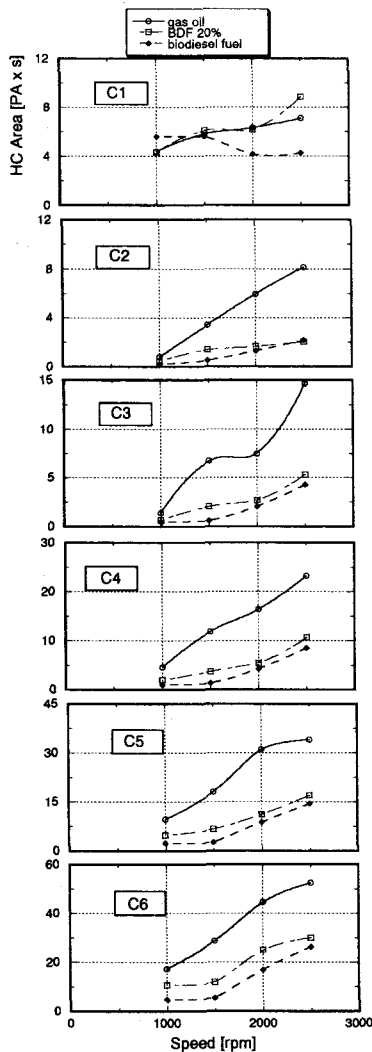


Fig. 8 Area of each hydrocarbon on chromatogram analysis under varying engine speed at full load.

#### 4. 결론

수냉식, 단기통, 4행정, 직접분사식 디젤기관의 연료로서 경유, 바이오디젤유 및 20%의 체적비율로 경유에 바이오디젤유를 혼합한 연료를 사용하여, 이들 연료들이 기관 성능 및 배기 배출물에 미치는 영향과 가스 크로마토그래피를 이용하여 탄화수소 배출에 대하여 조사한 결과 다음과 같은 결론에 도달하였다.

1) 출력과 에너지소비율의 큰 변화없이 바이오디젤유의 함유량이 증가함에 따라서 현저하게 매연 생성을 억제시키는 함산소성분의 효과를 입증하였다.

2) 개별탄화수소의 분석결과, 경유의 경우보다 바이오디젤유를 사용한 경우에 전체적인 회전영역에서 저비동점과 고비동점 탄화수소의 배출량이 현저하게 낮아지는 것을 확인할 수 있었으며, 특히 고비동점 탄화수소량이 현저하게 낮아지는 것을 확인할 수 있었다.

#### 참고문헌

- (1) Norbert h., Volker K., Herwig R. and Gunter S., 1991, "Performance, Exhaust Emissions and Durability of Modern Diesel Engines Running on Rapeseed Oil." SAE Paper, 910848.
- (2) 오영택, 2000, "디젤기관의 대체연료로서의 미강유의 특성(1)", 제 6회 경남,부산 자동차 테크노센타 워크샵 논문집, pp.198~204.
- (3) 村山 正, 吳永澤, 1984, "ディーゼル機関における植物油利用に関する研究", 日本自動車技術會 學術講演會 論文集, 842071.
- (4) 오영택, 최승훈, 2000, "디젤기관의 배기배출물 중 가스 크로마토그래피를 이용한 탄화수소분석에 관한 실험적 연구", 한국동력기계 공학회지, Vol.4, NO.3, pp.12~18.
- (5) 오영택, 최승훈, 김승원, 2001, "디젤기관의 대체연료로서 미강유의 실험적 연구", 한국자동차공학회 춘계학술대회 논문집, Vol. I, pp.219~224.
- (6) 登坂 茂, 藤原康博, 1989, "ディーゼル機関排出微粒子の生成に及ぼす燃料性状の影響", 日本技術學會論文集, 55卷 509号.