

# 커먼레일 디젤기관에 초음파 조사 바이오디젤유 적용 특성에 관한 연구

최두석<sup>\*1)</sup> · 정영철<sup>1)</sup> · 임석연<sup>2)</sup> · 류정인<sup>3)</sup>

공주대학교 기계자동차공학부<sup>1)</sup> · 충남대학교 대학원 기계공학과<sup>2)</sup> · 충남대학교 기계공학부<sup>3)</sup>

## A Study on the Application Characteristics of Ultrasonically Irradiated Bio-Diesel Fuel in Common-rail Direct Injection Diesel Engine

Dooseuk Choi<sup>\*1)</sup> · Youngchul Jung<sup>1)</sup> · Seukyeon Im<sup>2)</sup> · Jeongin Ryu<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Division of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju National University, Cheonan 330-717, Korea

<sup>2)</sup>Graduate School of Mechanical Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

<sup>3)</sup>Division of Mechanical Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

(Received 3 June 2005 / Accepted 22 September 2005)

**Abstract** : The reformed bio-diesel fuel irradiated by the ultrasonic wave is applied to the diesel engine of common rail in common use recently. This study has the object to examine the properties of engine performance and discharged materials. The bio-diesel fuel is mixed and used with the diesel fuel in common use at the ratio of 20% or 100%. The ultrasonic energy is irradiated to the individually mixed fuel in order to reform the fuel. This fuel is applied to the engine in this experiment. And It is compared and analyzed from the experimental results with two cases irradiating the ultrasonic wave and no irradiating.

**Key words** : Bio diesel fuel(바이오 디젤유), Reformed bio diesel fuel(개질된 바이오 디젤유), Ultrasonically irradiated bio diesel fuel(초음파 조사 바이오 디젤유), Ultrasonic energy(초음파 에너지), Common-rail diesel engine(커먼레일 디젤엔진)

### 1. 서론

최근 석유자원의 유한성과 가격의 상승 그리고 환경문제 등으로 대체에너지에 대한 관심이 급증하고 있다. 대체에너지 중 바이오 디젤유는 시판 경유의 특성과 유사하며 수송용 에너지로써 현재 상용되고 있는 디젤 자동차에 직접 적용의 가능성이 매우 큰 대체에너지이다. 합산소 연료인 바이오 디젤유는 시판 경유에 가까운 세탄가를 가지고 있으며 연료 중에 약 11%의 산소를 함유하고 있다. 이것은 기관성능과 배출가스 특성에 영향을 미치게 된다.<sup>1)</sup>

이전 연구보고서들에 의하면 바이오 디젤유를 사용함으로써 출력은 시판 경유에 비하여 동등 이하이며, 매연은 현저히 감소하고 NOx는 미량 감소하거나 증가한다고 밝히고 있다.<sup>2)</sup> 현재 일부는 경제적인 양산 단계에서 디젤 자동차에 사용되고 있다. 그러나 바이오 디젤유는 특성상 고점성 유체로서 발열량이 경유보다 낮고 점도가 높아 분무미립화 의 불량 및 연료계통의 막힘 등의 문제점이 있다.<sup>3)</sup>

일반적으로 디젤기관의 완전연소를 위해서는 연소실에 분사된 연료가 미립화 된 상태이어야 하고, 그 미립화된 액적이 증발되어 공기와 균일한 혼합과정을 거쳐 착화되어야 한다. 초음파에너지 조사에 의한 기존 연료의 개질과 같은 연료 성상의 개선

\*To whom correspondence should be addressed.  
dschoi@kongju.ac.kr

에 의한 액체연료의 미립화 방법은 다른 액체연료의 미립화 방법에 비해서 비교적 분열이 잘되고 분무량이나 입경의 제어가 용이하며 주파수가 높은 만큼 미세한 분무입경이 얻어진다. 또한 장치가 간단하고 비교적 조용한 무화가 가능한 장점을 가지고 있다.

최근 디젤엔진 연료분사장치의 발달로 인하여 분사의 고압화와 전자제어가 가능해지고 과일릿 분사의 도입으로 정숙성이 증대되어 커먼레일 디젤송용차에 대한 관심이 증가하고 있다.<sup>4)</sup> 그러나 커먼레일형 디젤기관을 적용하였을 경우의 특성에 대한 심층적이고 체계적인 연구가 아직까지 이루어 지지 않았다. 따라서 본 연구에서는 위와 같은 사항에 착안점을 두고, 초음파 개질 바이오 디젤유를 최근 상용되고 있는 커먼레일형 디젤기관에 적용하여 기관 성능특성 및 배출물질특성을 규명하는데 그 목적을 두었다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

### 2.1 초음파 연료공급장치

본 실험에 사용된 초음파진동자의 규격은 Table 1 과 같으며, Fig. 1은 초음파 연료공급장치의 개략도이다.

초음파 연료공급장치의 진동자는 볼트 체결형 방식의 랑게빈 전액진동자를 사용하였다. 전원 AC 220V로 초음파 발전기(200W)를 작동시키면 초음파는 28kHz로 진동하면서 혼을 통하여 연료에 전달되는 구조로 되어 있다. 연료는 초음파 연료공급장치의 챔버의 하단으로 유입되어 상단을 통하여 엔진으로 공급되며, 챔버 상단에는 음의 전반사 조건이 가능하도록 혼의 선단부에서부터  $(5/4)\lambda$  떨어진 곳에 반사판을 설치하였다. 여기서  $\lambda$ 는 음의 파장을 말한다. 또한 초음파 연료공급장치의 챔버 내부에서 발생하는 기포를 제거하기 위하여 챔버의 상측 반사판 뒷면에 에어벤트(air vent)을 장착함으로써 초음파 공동현상에 의하여 발생하는 기포<sup>5)</sup>를 방출시키도록 설계하였다. 초음파 연료공급장치는 연료탱크와 저압연료펌프 사이에 설치하였고 초음파로 개질된 연료는 연료소비량계를 지나서 엔진으로 공급되도록 하였다.

Table 1 Specification of bolted Langevin transducer

Items	Specifications
Frequency(kHz)	28±0.4
Admittance(mΩ)	35±7
Thermal quality(Qm)	1,000
Capacity(pF)	3000±15%
Maximum velocity(cm/s)	60
Maximum altitude(μm)	9.6
Dia. & Thickness(mm)	Ø29.5&5

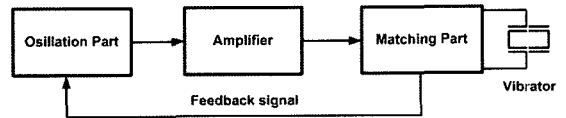
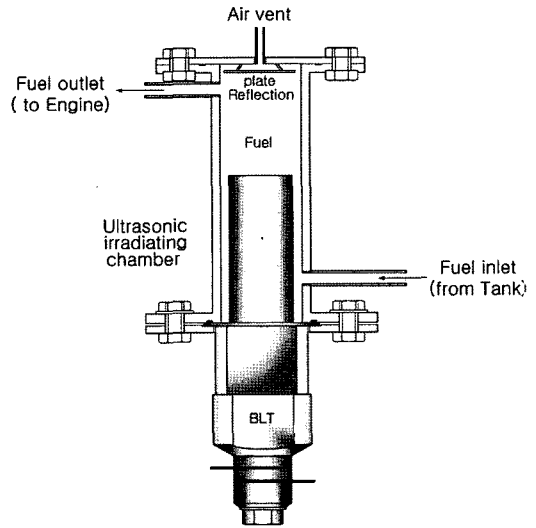


Fig. 1 Schematic diagram of ultrasonic fuel supply system

### 2.2 실험방법

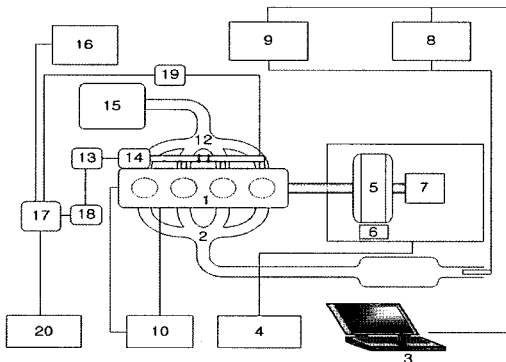
실험에 사용된 기관 사양은 Table 2와 같으며, 사용된 연료의 특성은 Table 3에 각각 나타내었다. 또한 실험장치의 개략도는 Fig. 2와 같다. 본 실험은 정속도 모드를 이용하여 기관의 회전수를 고정시킨 후에 25%, 50%, 75%, 100% 부하 범위를 선택하여 실험 하였으며, 각각의 부하 위치는 각 부하별 가속 페달위치센서(APS)의 출력전압을 측정하여 실험하였다. 연료의 혼합비율은 시판 경유에 바이오 디젤유를 20%(BD20), 100%(BD100)씩 혼합하여 사용하였으며, 초음파조사에 의하여 개질된 바이오 디젤유와 개질되지 않은 바이오 디젤유를 사용하여 비

Table 2 Specification of test engine

Items	Specifications
Engine type	4-stroke/DI
Total displacement	1,991(cc)
Bore × Stroke	83.0 × 92.0(mm)
Fuel injection type	C. R. D. I.
Turbo charger	Waste-Gated T/C
Compression ratio	17.7 : 1
Max. injection pressure	1,350(kg/cm2)

Table 3 Properties of test fuel

Item	Bio diesel fuel		Diesel fuel
	BD20	BD100	
Flash Point (PM, °C)	48	174	44
Pour Point (°C)	-17.5	-2.5	-17.5
Sulfer(Wt. %)	0.018	0.011	0.022
Specific gravity (15/4°C)	0.8317	0.8815	0.8211
Cetane Number	50.5	57.5	51.8
Kinematic Viscosity (40°C, cSt)	2.614	4.255	2.350



1.Engine, 2.Exhaust manifold, 3.Computer, 4.Dynamometer controller, 5.Dynamometer 6.Load cell, 7.Rotary encoder, 8.Smoke tester, 9.NOx tester, 10.Radiator, 11.Common-rail, 12.Intake manifold, 13.Fuel flowmeter(in), 14.High pressure supply pump, 15.Air filter, 16.Fuel tank, 17.Ultrasonic fuel supply system, 18.Fuel supply pump, 19.Fuel flowmeter(out), 20.Ultrasonic generator

Fig. 2 Schematic diagram of test engine equipment

교 실험을 하였다. 초음파 연료 공급장치의 챔버 용량은 1100cc로 설계 제작하여 본 실험에 적용하였다. 매연농도의 측정에는 광투과식 디지털 매연 측정장치(OP-120)를 사용하였으며, 1분 동안 1초의 간격으로 60회 채취하여 측정하고 평균값을 구하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 기관성능 특성

Fig. 3은 엔진 부하별 기관 회전수에 따른 출력관계를 나타낸 것이다.

시판 경유와 바이오 디젤유의 혼합비율에 따라 혼합 바이오 디젤유(이하는 “BD”라 한다)와 초음파 개질 바이오 디젤유(이하는 “UBD”라 한다)의 기관출력 특성을 나타낸 것이다. 바이오 디젤유의 발열량은 시판 경유에 비해 약 12% 정도가 낮은 것으로 보고되고 있는데, 본 실험에서도 바이오 디젤유 100%의 경우가 바이오 디젤유 함유량 20%에 비해 최대 약 10%의 출력이 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 3에서와 같이 UBD의 출력이 BD의 출력보다 부하 25%의 조건에서 최대 약 8% 상승하였다. 이것은 초음파 에너지 조사에 의한 연료의 점도와 표면장력이 감소로 인하여 연소실 내로 분무시 분무 입경이 미립화되어 연소가 촉진되었기 때문이다. 그러나 3,000rpm 이상의 구간에서는 UBD의 기관출력 상승효과가 나타나지 않고 있다. 그 이유는 높은 기관 회전수 구간에서는 초음파 에너지 체류시간이 짧아져 초음파 에너지에 의한 연료의 개질효과가 감소하기 때문이다. 이와 같은 상황을 살펴보기 위하여 각 실험조건에서 제동연료소비율(BSFC)를 조사하여 보았다.

Fig. 4는 엔진 부하별 기관 회전수에 따른 제동연료소비율을 나타낸 것으로 단위시간 당 단위 일을 내는데 필요한 연료량을 엔진 부하별 기관 회전수에 따라 나타내었다.

일반적으로 바이오 디젤유의 혼합비율이 증가할수록 단위출력 당 소모되는 연료량은 증가한다. 본 실험에서도 그림에서 보는 바와 같이 BD100의 연료소모량이 BD20의 연료소모량보다 전반적으로 높게 나타나고 있다. 그러나 초음파 에너지를 조사한 경우는 기관 회전수 2,000rpm 미만의 모든 부하 영역에서 UBD100과 UBD20의 제동연료소비율 증가가 2% 미만으로 적게 나타났다. 이것은 초음파 에너지 조사한 경우 UBD100과 UBD20의 경우 모두가 연료소모량이 증가되지 않고 출력이 상승한 것을 나타낸다. 2,000rpm 이상의 구간에서 UBD 제동연

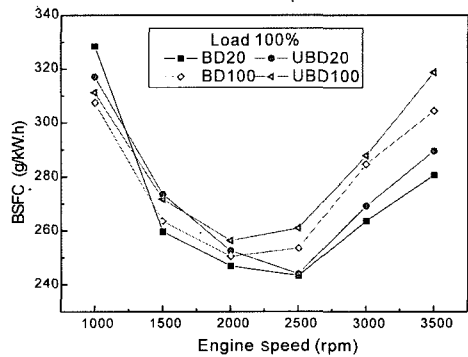
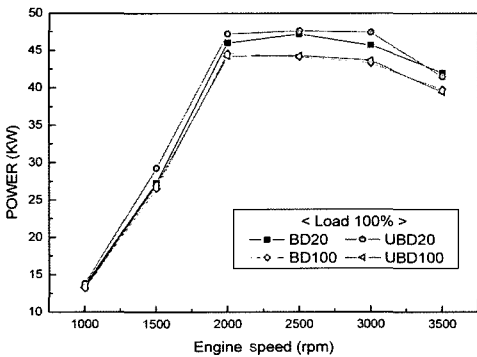
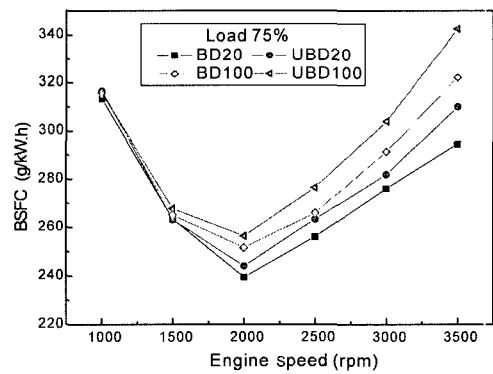
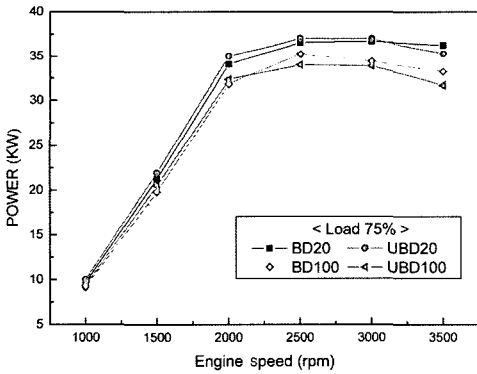
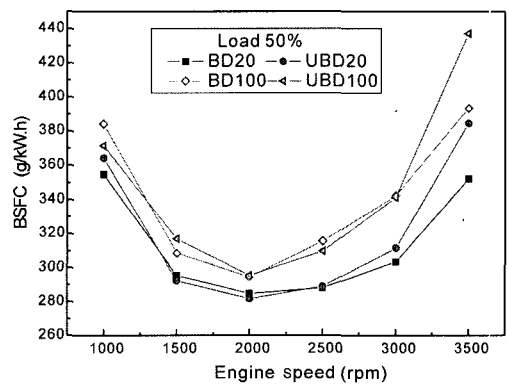
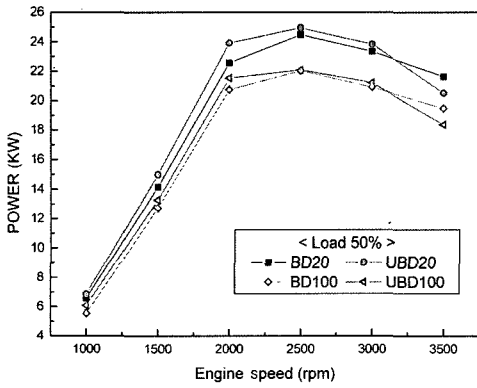
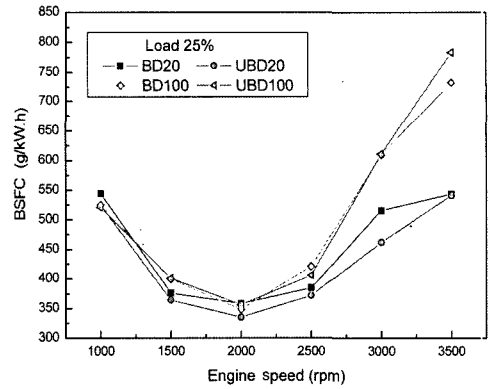
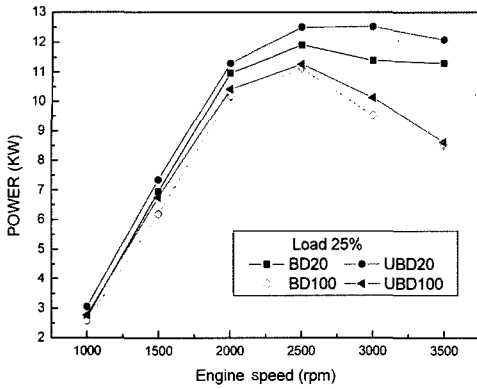


Fig. 3 Comparison of engine power under various engine speed at engine load 20%, 50%, 75%, 100%

Fig. 4 Comparison of BSFC under various engine speed at engine load 25%, 50%, 75%, 100%

료소비율이 약간 상승되어 나타나는데 그 이유는 기관 회전수가 증가하면 기관으로 공급되는 연료량이 증가하게 되고 따라서 연료의 유동성이 상승하게 되며 초음파 에너지 조사시간이 짧아지게 된다. 따라서 고속 고부하 영역에서는 초음파 에너지에 의한 연료의 개질효과는 저감된다. 또한 초음파 에너지 조사되면 바이오 디젤유의 동점성(Kinematic Viscosity)은 낮아지므로 연료관내의 유체 유동성이 향상된다. 따라서 단위시간당 엔진으로 공급되는 연료의 양이 증가하게 된다. 그리고 초음파 에너지가 연료에 조사되면 연료내부의 용존 가스의 탈기 현상으로 가스가 발생된다. 이때 발생된 가스를 연료에 혼입하여 공급할 경우 엔진의 부조현상이 발생되므로 가스를 대기 중으로 배출시켰다. 이로 인하여 연료의 밀도가 변화되어 기관으로 공급되는 연료의 질량이나 체적의 변화에 영향을 미쳤을 것으로 판단된다. 결국 초음파 에너지를 조사하여 바이오 디젤유를 개질한 경우 기관출력은 전반적으로 상승하였으나 2,000rpm 이상의 구간에서 부하가 증가할수록 단위시간당 단위 일을 하는데 사용된 연료량은 증가한 것으로 나타났다.

### 3.2 기관배출물질 특성

Fig. 5는 UBD와 BD의 각 부하별 기관 회전수에 대한 매연의 배출특성을 나타낸 것이다. 그림에서 보면 전반적으로 BD보다 UBD의 매연 배출량이 감소하고 있다. 1,500rpm 이하의 구간에서는 부하범위 50% 구간까지 매연농도의 차이는 적게 나타난다. 그 이유는 저부하 저회전수 영역에서는 엔진을 공급되는 산소량이 충분하여 초음파 에너지에 의한 매연 감소 효과가 미미한 것으로 판단된다. UBD20의 경우 모든 부하 범위에서 10%이하의 매연 배출 특성을 보이고 BD20과 비교하여 부하 100%의 경우 엔진회전수 1500rpm에서 최대 40%까지 매연이 감소함을 알 수 있는데 이것은 연료가 초음파 에너지의 영향으로 표면장력의 감소에 의하여 분무입경이 미립화 되었을 뿐만 아니라 화학구조 변화에 따른 착화성의 향상으로 인해 충분히 산소와 결합함으로써 활발한 연소를 일으켜 매연농도가 현저히 저감된 것으로 판단된다.

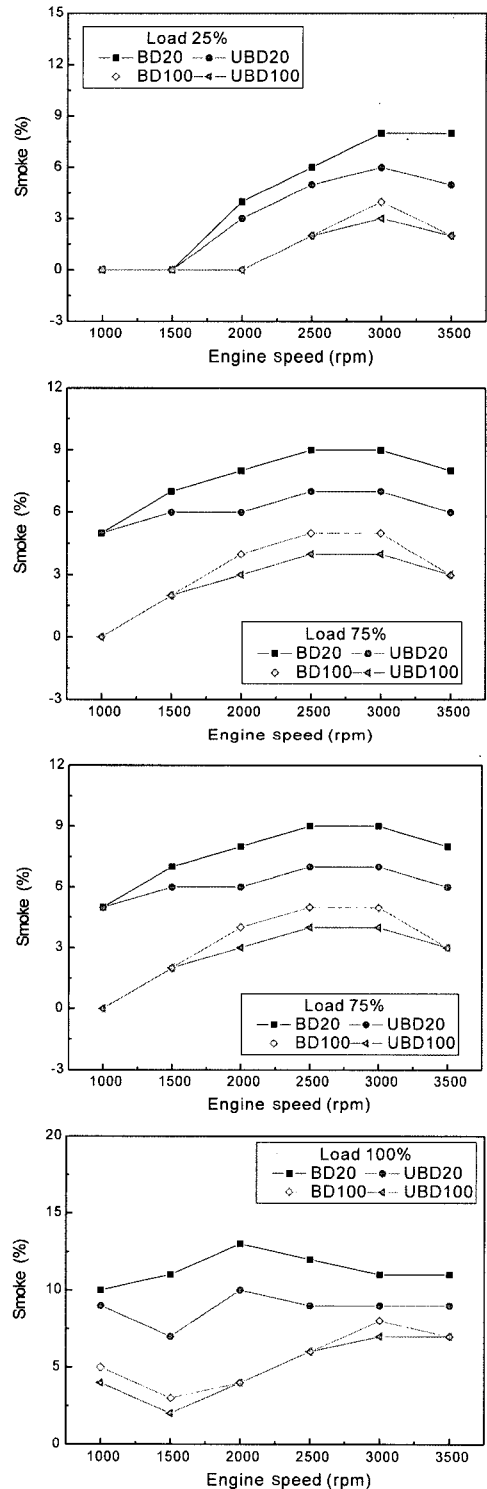


Fig. 5 Comparison of Smoke under various engine speed at engine load 25%, 50%, 75%, 100%

바이오 디젤유의 혼합비율 20% 구간에서는 고회전 고부하 영역일수록 BD20보다 UBD20의 매연 배출량이 크게 감소하는 것을 알 수 있다. 이것은 고회전 고부하 영역일수록 산소량이 희박해지는 기존의 연소과정에 초음파 개질연료 연소특성이 도움을 주고 있다고 설명할 수 있다. 그러나 저회전 저부하 영역에서는 BD20과 UBD20의 경우 모두 공기 이용률이 충분하기 때문에 매연 배출물에 대한 초음파 에너지의 영향이 크지 않은 것으로 분석된다. BD100과 UBD100의 경우는 연료자체에 포함된 산소성분이 비교적 산소농도가 희박한 후연소기간 동안에 연료입자의 산화를 더욱 촉진시켜 초음파 에너지에 의한 개질효과가 최대 5% 이하로 나타난 것으로 판단된다.

또한 고회전 고부하 영역으로 갈수록 초음파 에너지 조사에 의한 개질연료의 매연감소율이 전반적으로 낮아진다. 그 이유는 초음파 에너지 조사장치로부터 기관까지 연료공급관의 길이가 길고 초음파 공동현상에 의해 탈기된 용존 가스를 배출함으로써 초음파 에너지 조사에 의한 개질효과가 저감되었기 때문으로 판단되며 고회전수 영역에서는 초음파 에너지 조사에 의한 연료의 개질 효과가 저감되기 때문이다.

#### 4. 결론

기관 경유에 바이오 디젤유를 20%, 100%의 비율로 혼합하고 초음파 에너지를 조사하여 개질한 후 기관에 적용하여 실험하고, 초음파 에너지를 조사의 경우와 조사하지 않은 경우를 비교 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 초음파 개질 바이오 디젤유의 기관출력 상승률은 혼합비율 20%의 경우가 크게 나타났으며, 부하 25%의 조건에서 최대 약 8%의 출력 상승효과를 확인할 수 있었다.
- 2) 초음파 개질 바이오 디젤유의 경우 기관 회전수

- 2,000rpm 미만의 모든 부하 영역에서 제동연료 소비율이 2% 미만으로 증가되어 연료소모량이 증가하지 않고 출력이 상승한 것을 확인하였다.
- 3) 기관 회전수 2,000rpm 이상의 모든 부하 영역에서 제동연료소비율이 증가되었으며, 초음파 개질 바이오 디젤유의 경우 기관으로 공급되는 연료량이 증가되는 것을 확인하였다.
- 4) UBD20은 모든 부하 범위에서 최대 10%이하의 매연 배출특성을 보이고, BD20과 비교하여 부하 100%, 엔진회전수 1500rpm 구간에서 최대 40%까지 매연이 감소하는 것을 확인하였다.
- 5) UBD100의 경우는 연료자체에 포함된 산소성분으로 인하여 초음파 에너지에 의한 매연 개질효과가 최대 5% 이하로 나타났다.

#### References

- 1) D. Y. Z. Chang and J. H. V. Gerpen, "Fuel Properties and Engine Performance for Biodiesel Prepared from Modified Feed Stocks," SAE 971684, 1997.
- 2) Y. Yoshimoto, M. Onodera and H. Tamaki, "Reduction of NOx, Smoke, and BSFC in a Diesel Engine Fueled by Biodiesel Emulsion with Used Frying Oil," SAE 1999-01-3598, 1999.
- 3) C. E. Goering, A. W. Schwab, M. F. Daugherty, E. H. Pryde and A. J. Heakin, "Fuel Properties of Eleven Vegetable Oils," Transactions of the ASAE, Vol.25, No.6, pp.1472-1483, 1982.
- 4) M. Y. Kim, H. P. Heo, C. I. Kim and K. H. Choi, "Development of Medium-Duty Diesel Engine with CP3.3 Common Rail-Concept Syudy and Initial Experimental Work," Transactions of KSAE, Vol.11, No.2, pp.69-74, 2003.
- 5) D. Ensminger, Ultrasonics, 2nd Edn., Marcel Dekker, Inc., 1988.