

# CRDI 방식 디젤기관의 초음파 조사 Bio-diesel 혼합연료 적용 특성에 관한 실험 연구

정영철<sup>†</sup> · 임석연<sup>\*</sup> · 박성영<sup>\*\*</sup> · 최두석<sup>\*\*</sup> · 류정인<sup>\*\*\*</sup>

## Experimental Study on the Application Characteristics of Bio-diesel blended Fuel by Ultrasonic Irradiation in CRDI type Diesel Engine

Y. C. Jung, S. K. Im, S. Y. Park, D. S. Choi and J. I. Ryu

**Key Words:** Bio-diesel blended fuel(바이오 디젤 혼합유), Ultrasonic energy(초음파 에너지), Ultrasonically irradiated fuel(초음파 조사유), Reformed fuel(개질유), Common-rail diesel engine(커먼레일 디젤엔진)

### Abstract

This is an experimental study on characteristics of engine performance and discharged materials in common-rail type diesel engine. The bio-diesel fuel is mixed with the diesel fuel in common use at the ratio of 20% or 100%. The diesel fuel and blended fuel is irradiated by ultrasonic wave energy. The diesel fuel, blended fuel, reformed diesel fuel and reformed blended fuel by ultrasonic wave energy are applied to the experimental engine individually. The results are compared with one of the diesel fuel in common use and analyzed.

### 1. 서 론

현대사회는 배출가스 등의 환경적인 문제와 자원의 고갈 등으로 인한 에너지자원 문제에 직면하고 있어 대체에너지에 대해 관심이 급증하고 있다. 바이오 디젤유(Bio-diesel Fuel, BDF)는 콩기름이나 폐식용유 등의 원료에 알코올을 반응시켜 만든 지방산 메틸에스테르로서 순도 95% 이상의 것을 사용합니다. 경유의 특성과 유사하고 디젤유는 시판경유에 가까운 세탄가를 가지고 있으며 연료 중에 약 11%의 산소를 함유하고 있다<sup>(1)</sup>.

최근의 연구보고서에 의하면 바이오 디젤유를 사용함

으로서 출력은 시판경유에 비하여 동등 이하이고, 매연은 현저히 감소하며, NOx는 미량 감소하거나 증가한다고 밝히고 있다<sup>(2)</sup>.

디젤기관의 유해 배출물질 저감의 주된 기술 중 초음파 에너지 조사에 의한 미립화 방법은 다른 방법에 비해 비교적 분열이 잘되고 분무량과 입경의 제어가 용이하며 주파수가 높은 만큼 미세한 분무입경이 얻어지는 장점이 있다. 지금까지 선행 연구자들은 초음파 에너지에 의해 개질된 연료가 기관의 연소실 내로 분무 시 연료의 미립화를 촉진시킴으로서 기관의 출력 상승 및 배출가스 저감에 효과가 있는 것으로 보고하고 있다<sup>(3-5)</sup>.

따라서 본 연구는 디젤엔진 연료분사장치의 발달로 인하여 분사압력의 고압화와 전자제어가 가능하고 파일럿 분사의 도입으로 정숙성이 향상<sup>(6)</sup>된 커먼레일 연료 분사방식을 장착한 디젤기관(이하 “커먼레일 디젤기관”이라 한다.)에 초음파 에너지의 조사에 의해 개질된 시판 경유와 바이오 디젤 혼합유를 적용하여 기관성능특성 및 배출물질 특성을 규명하는데 그 목적이 있다.

(2007년 4월 4일 접수 ~ 2007년 9월 21일 심사완료)

<sup>†</sup>충남대학교 대학원 기계공학과, BK21 메카트로닉스사업단

<sup>\*\*</sup>공주대학교 기계자동차공학부

<sup>††</sup>충남대학교 기계공학과

<sup>\*</sup>책임저자, 회원, 공주대학교 기계자동차공학부

E-mail : motor@kongju.ac.kr

TEL : (041)550-0243 FAX : (041)555-9123

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1. 초음파 연료공급장치

Figure 1은 초음파 조사장치의 개략도이다. 초음파 조사장치는 초음파 진동자에 전기신호를 가하는 기계적 진동신호로서 초음파 출력을 내는 장치이다.

초음파 조사장치는 진동자, 혼 및 반사판 등으로 구성되고 Fig. 2와 같다. 진동자는 볼트체결형 랑게빈 전액 진동자를 사용하였고, 그 재원은 Table 1과 같다. 전원 220V로 초음파 발전기(2400W)를 작동시키면 진동자는 15kHz로 진동하면서 혼을 통하여 초음파 에너지가 연료에 전달되는 구조이다. 초음파 에너지를 극대화하기 위해서 반사판은 혼의 선단부로부터  $(5/4)\lambda$ (초음파의 1 파장) 떨어진 곳에 장착하였다. 또한 챔버 내에서 초음파 공동현상으로 발생하는 가스<sup>(7-8)</sup>가 엔진으로 유입되

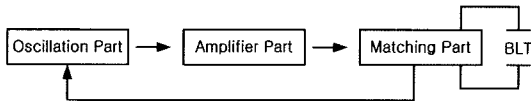


Fig. 1 Block diagram of ultrasonic oscillator system

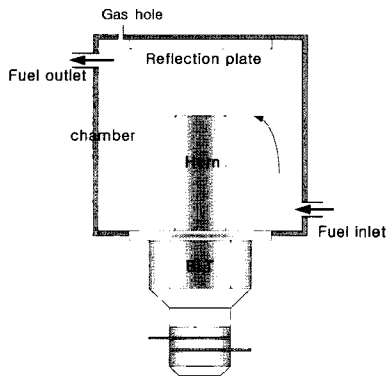


Fig. 2 Schematic diagram of ultrasonic fuel supply system

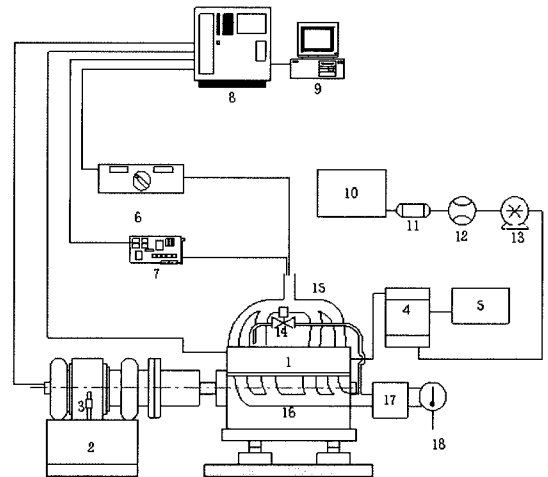
Table 1 Specification of bolted Langevin transducer

Items	Specifications
Frequency (kHz)	15 ± 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)	φ29.5 & 5

면 엔진 부조와 고압 펌프, 인젝터 등에 손상을 일으킬 수 있으므로 가스의 유입을 방지하기 위해 초음파 챔버 상단에 가스홀(gas hole)을 설치하여 가스를 배출하도록 하였다.

### 2.2. 기관성능 실험장치

기관성능 실험장치의 개략도는 Fig. 3과 같다. 본 실험에 사용된 기관은 커먼레일형 직접분사방식 디젤엔진 (common-rail type direct injection diesel engine; D-2.0 ) 이고 주요 재원은 Table 2에 나타내었다. 기관동력계는 맥동하는 자장의 저항을 제동력으로 변환시키는 수냉식 와전류 동력계(eddy current dynamometer : Hwanwoong co. Ltd, type 130 kW)를 사용하였다. 실험은 정속모드로 회전속도를 고정시킨 후에 엔진부하를 가변시키는 방법으로 하였다. 즉, 기관회전속도 1000 rpm~3500 rpm 까지 500 rpm간격으로, 기관부하는 각 회전속도에서 상



1. Diesel engine	2. Dynamometer	3. Load cell
4. Ultrasonic fuel system	5. Ultrasonic generator	6. Smoke tester
7. NOx tester	8. Dynamometer controller	9. Controller computer
10. Fuel tank	11. Fuel filter	12. Fuel flow meter
13. Fuel pump	14. EGR valve	15. Exhaust manifold
16. Intake manifold	17. Air filter	18. Air flow meter

Fig. 3 Schematic diagram of test engine equipment

Table 2. Specification of test engine

Items	Specifications
Engine type	Water cooled 4 stroke cycle 4 cylinder engine
Total displacement	1,991cc
Bore × stroke	83 × 92 mm
Max. Power	115 ps/4000 rpm
Max. Torque	26.5 kgm/2,000 rpm
NVH	93.5dBA
Fuel injection	Bosch CR
Valve system	SOHC 4-Valve
Turbocharger	Waste gated t/c

Table 3 Properties of test fuel

Item	Bio Diesel Fuel		Diesel
	BD20	BD100	
Flash Point (PM, °C)	48	174	44
Pour Point (°C)	-17.5	-2.5	-17.5
Sulfur (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
Lower-calorific value (cal/g)		9460	10031.53

용 디젤연료사용 시의 최대 토크를 기준으로 하여 25%, 50%, 75% 및 100%로 변화시키면서 실험하였다. 각각의 부하 위치는 각 부하별 가속페달위치센서(APS: acceleration position sensor)의 출력전압을 측정하여 실험하였다.

연료의 혼합비율은 시판 경유에 바이오 디젤유를 20%, 100%씩 혼합하여 사용하였으며, 초음파 조사에 의하여 개질된 시판 경유와 바이오 디젤 혼합유를 사용하여 시판 경유 시와 각각 비교 실험을 하였고, 사용된 연료의 특성은 Table 3에 나타내었다.

연료소비율은 유체의 체적을 측정하는 방식으로 측정된 평균치를 질량으로 환산하여 계산하였고, 배기가스 중 NOx는 HORIBA사의 MEXA-554JK로, 매연은 (주) Eplus-T사의 OP-120 광투과식 디지털 매연측정 장치를 이용 하였으며 1분 동안 1초 간격으로 60회 측정하고 평균값을 구하였다. 기관성능 및 배기가스 측정에 사용한 장치의 목록은 Table 4와 같다.

Table 4 Specification of measuring equipment

Items	Specifications
Dynamometer	Hwan-wong Co. Model DYTEK-130 Absorption torque : 343 Nm Absorption power : 130 kW Maximum speed : 9,000 rpm Torque detector : Load cell type (2 mV/V, ± 2%) Cooling type : Water cooling system
Fuel flow meter	Flowtronic 215
NOx analyzer	HORIBA Co. type MEXA-554JK-NOx Measure type : Chemiluminescence Response time : 90sec
Smoke meter	Eplus-T Co. type OP-120 Measurable range : 0~100% opacity 0~10 m-1 density Response time : 1.0 ± 0.1 sec Save interval time : 0.5~30 sec

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1. 기관 출력

Figure 4는 엔진부하별 기관회전수에 따른 기관 출력 관계를 나타낸 것이다. 모든 부하 범위에서 기관회전수가 증가할수록 출력은 상승하였다. 바이오 디젤유(이하 "BD"라 한다.) 100%의 경우가 BD 함유량 20%에 비해 최대 약 10%의 출력이 감소하였다. 또한 BD 적용 시 시판경유에 비해 출력이 감소하였으며 이것은 BD의 발열량이 시판 경유에 비해 약 12% 정도가 낮은 것에 기인한 것으로 판단된다. 부하 50%, 기관회전수 2000 rpm 조건에서 초음파 조사 디젤유(이하 "UD"라 한다.) 사용으로 최대 약 11%까지 출력이 상승하였고, 초음파 조사 바이오 디젤유(이하 "UBD"라 한다.) 100%의 경우 출력은 BD100%의 출력보다 부하 25%, 기관회전수 1000rpm의 조건에서 최대 약 8% 상승하였다. 이것은 초음파 에너지 조사에 의한 연료의 점도와 표면장력의 감소<sup>(6)</sup>로 인하여 연소실 내로 분무 시 분무 입경이 미립화 되어 연소가 촉진되었기 때문으로 판단 된다. 또한 부하와 기관회전수가 증가할수록 출력 상승률이 낮게 나타나고 있는데, 그 이유는 고부하, 고회전수 구간에서는 초음파에너지 조사 시간이 짧아져 초음파에너지에 의한 연료의 개질효과가 감소하기 때문으로 판단된다.

#### 3.2. 제동연료소비율(Brake specific fuel consumption)

Figure 5는 회전수에 따른 제동연료소비율을 부하별

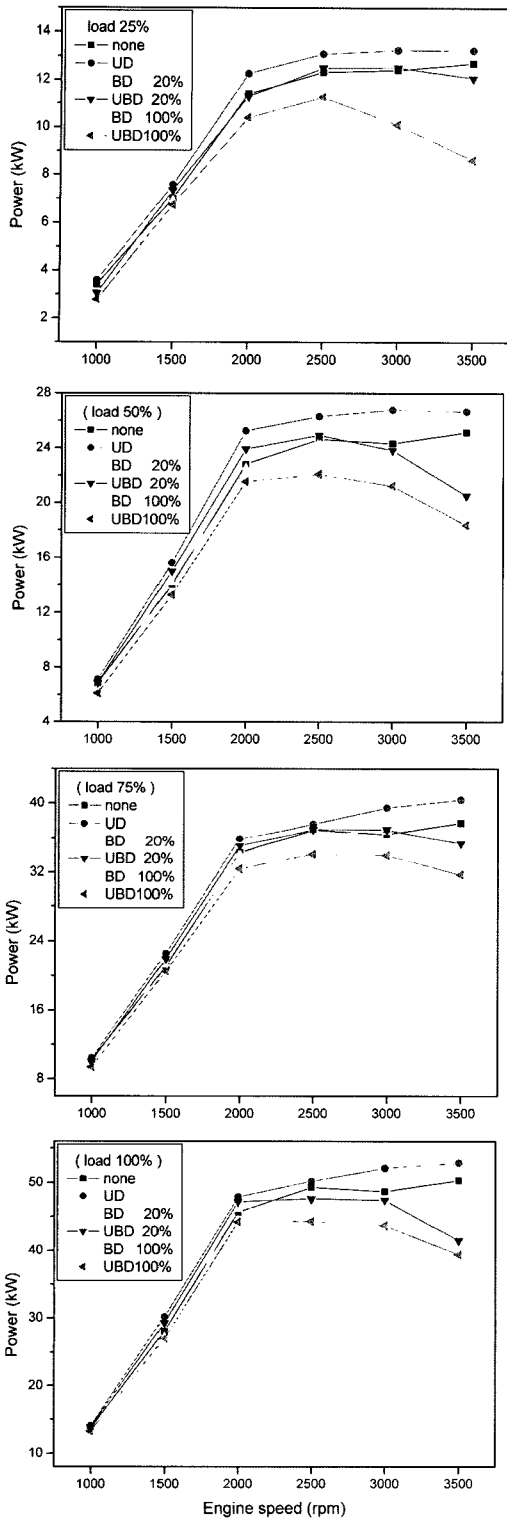


Fig. 4 Comparison of Power under various engine speed at engine load 25%, 50%, 75%, 100%

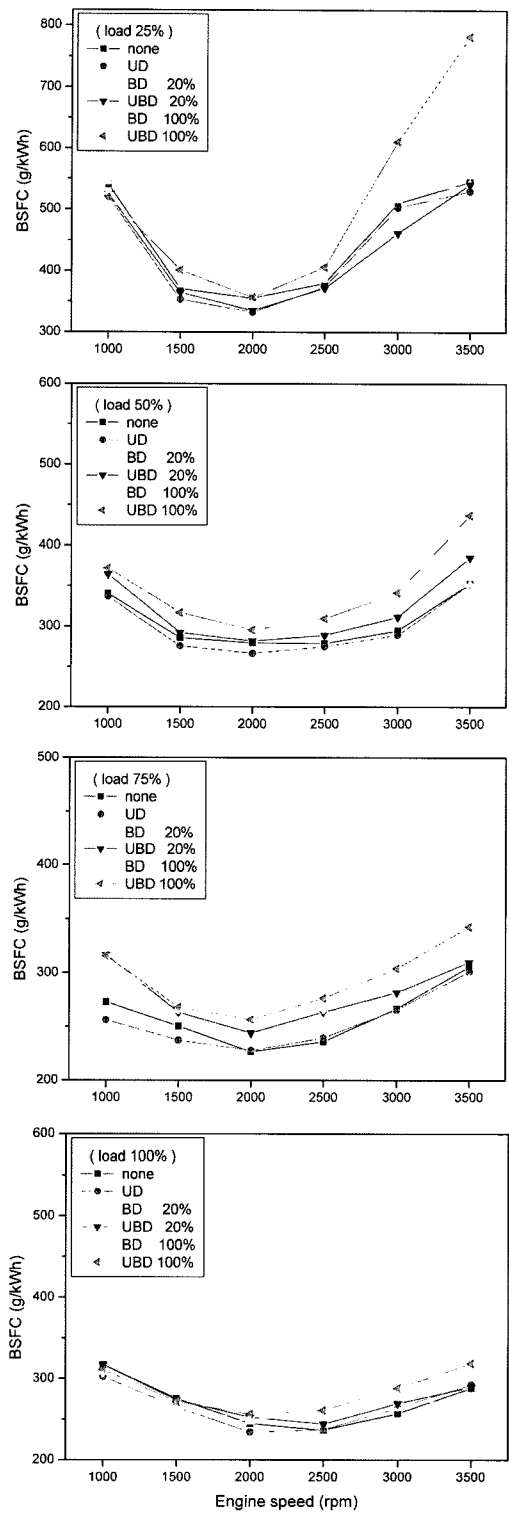


Fig. 5 Comparison of BSFC under various engine speed at engine load 25%, 50%, 75%, 100%

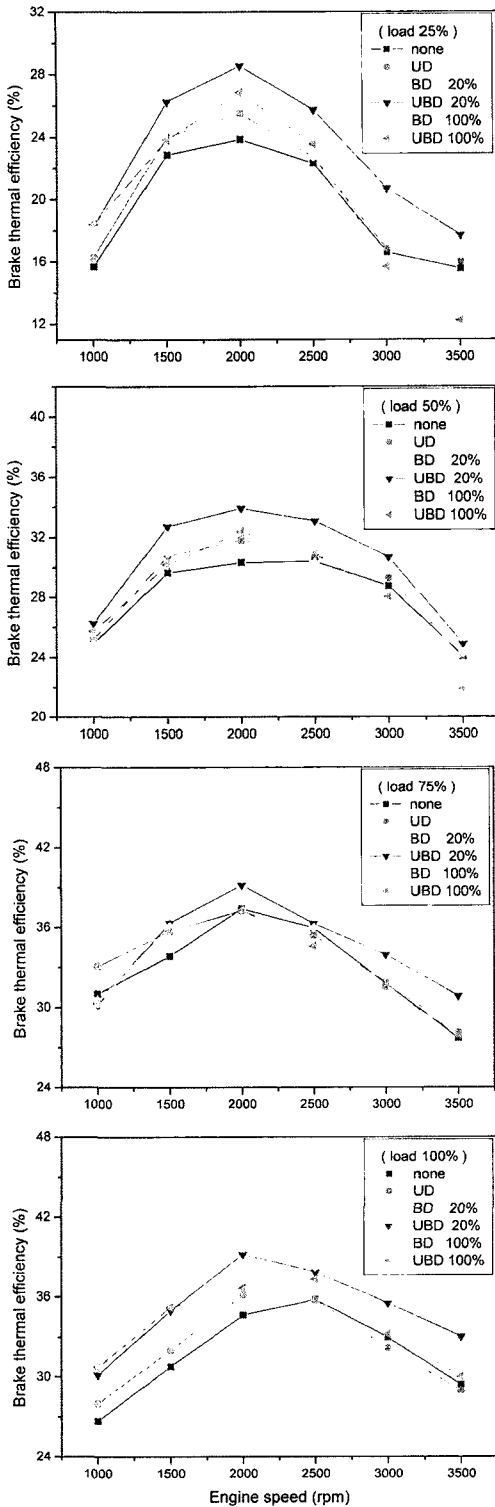


Fig. 6 Comparison of BTE under various engine speed at engine load 25%, 50%, 75%, 100%

로 나타낸 것이다. 바이오 디젤유의 발열량이 경유에 비해 발열량이 약 12%정도 낮기 때문에 연료 공기비의 증가로 인해 제동연료소비율은 증가한다. 본 실험에서도 BD100%의 제동 연료소비율이 BD20%의 경우보다 전반적으로 높게 나타났다. 시판경유에 초음파 에너지를 조사하면 약 5~10%정도 제동연료소비율 개선 효과가 있지만 바이오 디젤유에 초음파에너지를 조사한 경우 개선 효과는 2%미만으로 적게 나타났다. 이것은 바이오 디젤유의 경우 초음파에너지의 조사 시 제동연료소비율은 증가되지 않고 출력이 상승한 것으로 판단된다. 고회전수, 고부하 구간일수록 초음파에너지 조사에 의한 개선 폭은 모든 연료에서 적게 나타나는데 이는 출력과 마찬가지로 회전수와 부하가 증가하면 제동연료소비율이 상승하게 되며 초음파 에너지 조사 시간이 짧아지게 되어 연료의 개질효과가 저감되기 때문으로 판단된다. 또한 초음파에너지가 연료에 조사되면 연료내부의 용존 가스의 탈기현상으로 가스가 발생하는데 이때 발생된 가스를 연료에 혼합하여 공급할 경우 엔진의 부조현상이 발생되어 가스를 대기 중으로 배출시켰다. 만약 이 가스를 재순환시킬 수 있는 방법을 강구한다면 보다 더 좋은 제동연료소비율을 나타낼 수 있을 것이라 판단된다.

### 3.3. 제동열효율(Brake thermal efficiency)

Figure 6은 각 부하별 기관회전수에 대한 제동열효율 특성을 나타낸 것이다.

시판 경유와 바이오디젤 혼합유를 비교해 보면 BD20%의 경우가 모든 부하영역에서 최대 5%의 제동열효율 상승을 보이고 있는데, 이는 바이오디젤은 발열량이 순수 경유에 비해 낮음에도 불구하고 초음파에너지에 의한 개선효과로 인하여 연소 효율이 향상되었기 때문이다. BD20%에 비해 BD100%인 경우 시판 경유와 비교 시 미약한 개선 효과를 볼 수 있었는데, 이는 BD100%의 낮은 발열량 때문이다.

선행 연구에 의하면 시판 경유에 초음파 에너지 조사 시 전 영역에 걸쳐 제동열효율은 상승하는 것으로 보고<sup>(4)</sup>되고 있는데, 본 실험도 초음파 에너지 조사 시 소폭 개선 효과를 확인할 수 있었다. 또한, 바이오디젤 혼합유에 초음파에너지 조사 시에도 소폭 개선 또는 동등한 결과를 확인하였다.

### 3.4. 매연

Figure 7은 각 부하별 기관 회전수에 대한 매연의 배출 특성을 나타낸 것이다. 부하 50%, 기관회전수 1500

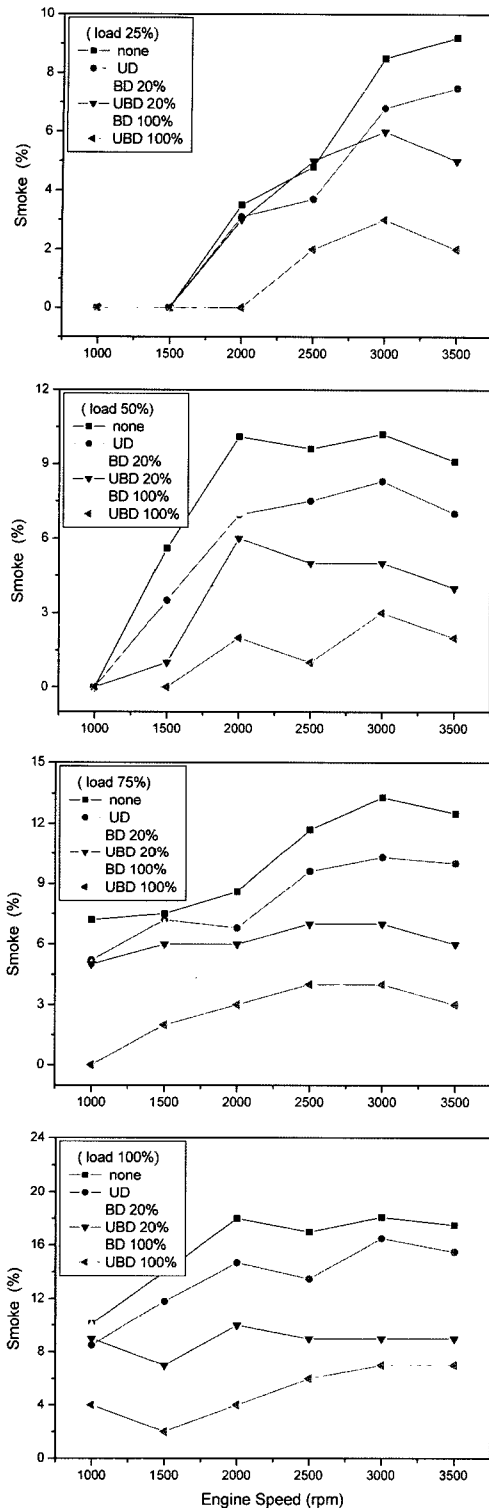


Fig. 7 Comparison of Smoke under various engine speed at engine load 25%, 50%, 75%, 100%

rpm인 경우 시판 경유에 초음파 에너지 조사 시 37%까지 감소하였고, BD 적용 시는 더 큰 폭의 저감효과를 볼 수 있었다. 기관회전수 1500 rpm이하 구간에서 부하 50%구간까지 매연 농도의 차이는 적게 나타나는데, 그 이유로는 저부하, 저회전수 영역에서는 엔진에 공급되는 산소량이 충분하여 초음파에너지에 의한 매연 감소의 효과가 미비한 것으로 판단된다. 또한 고회전, 고부하 영역으로 갈수록 초음파 에너지 조사에 의한 개질연료의 매연감소율이 전반적으로 낮아졌다. 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 때문으로 판단된다. 바이오 디젤유의 혼합비율 20%구간에서는 고회전 고부하 영역일수록 BD20%보다 UBD20%의 매연 배출량이 크게 감소하였다. 이것은 고회전, 고부하 영역일수록 산소량이 희박해지는 기존 연소과정에 초음파 에너지에 의한 연료 미립화의 효과 때문으로 판단된다. 그러나 저회전, 저부하 영역에서는 BD20%와 UBD20%의 경우 모두 공기 이용률이 충분하기 때문에 매연 배출물에 대한 초음파 에너지의 영향이 크지 않은 것으로 분석된다. BD100% 과 UBD 100%의 경우는 연료자체에 포함된 산소성분이 산소농도가 희박한 후 연소 기간 동안에 연료입자의 산화를 더욱 촉진시켜 초음파 에너지에 의한 개질효과가 최대 5% 이하로 나타난 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

시판 경유와 바이오 디젤유를 20%, 100% 혼합한 연료에 각각 초음파 에너지를 조사하여 최근 사용되고 있는 커먼레일 디젤기관에 적용함으로써 기관성능 특성 및 배출물질 특성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 바이오 디젤 혼합유에 초음파 에너지를 조사한 경우에 연소실 내로 분무 시 분무 입경의 미립화로 연소가 촉진되어 시판 경유는 최대 11%, 바이오 디젤 혼합유는 최대 8% 출력이 상승하였다.

2) 제동연료소비율은 시판 경유와 비교하여 바이오 디젤유가 상승된 것으로 나타났고, 초음파 에너지가 조사된 시판 경유는 5%~10%의 개선 효과가 있었으며, 바이오

오 디젤 혼합유의 개선 효과는 2% 미만으로 나타났다.

3) 제동열효율은 초음파가 조사된 연료에서 개선효과가 나타났으며, 바이오 디젤유가 20% 혼합된 연료에 초음파 에너지가 조사된 경우 제동열효율이 최대 5%까지 개선되었다.

4) 매연은 바이오 디젤 혼합유 100%의 경우 초음파에 의한 개선효과가 미비한 것으로 나타났으나, 혼합비율 20%의 경우 최대 5%의 개선효과가 있었다.

### 참고문헌

- (1) D. Y. Z. Chang, J. H. V. Gerpen, "Fuel Properties and Engine Performance for Biodiesel Prepared from Modified Feed stocks", SAE Paper 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 Paper 1999-01-3598, 1999.
- (3) J. V. Droughton et al., "The Effect of Ultrasonic Mixing of the Fuel on the performance of an Internal Combustion Engine", SAE Paper No. 840238, 1984.
- (4) D. S. Choi, "A Study on the Automization Characteristics and the Engine Performance Characteristics of the Ultrasonic-Energy-Added Diesel Fuel", Chungnam University, Ph.D., 1996.
- (5) B. O. Lee, "A Study on the Performance of the Diesel Engine with Ultrasonically Reformed Fuel", Chungnam University, Ph.D., 2004.
- (6) 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 Study and initial Experimental Work", Transactions of KSAE, Vol.11, No.2, 2003, pp.69-74.
- (7) D. S. Choi, Y. C. Jung, S. Y. Im and J. I. Ryu, "A Study on the Application Characteristics of Ultrasonically Irradiated Bio-Diesel Fuel in Common-rail Direct Injection Diesel Engine", KSAE, Vol.14, 2006, No.1, pp.109-114.
- (8) D. Ensminger, Ultrasonics, 2nd Edn., Marcel Dekker, Inc., 1988.