초음파 조사 디젤유 적용 커먼레일 디젤기관 특성에 관한 연구

임석연* · 정영철** · 조성철*** · 류정인†

Study on the Characteristics of Common-rail Diesel Engine with Ultrasoniccally Irradiated Diesel Fuel

S. Y. Im, Y. C. Jeong, S. C. Cho and J. I. Ryu

Key Words: Diesel fuel(디젤유), Ultrasonic energy(초음파에너지), Ultrasonically irradiated diesel fuel(초음파 조사 디젤유), Common-rail diesel engine(커먼레일디젤엔진)

Abstract

This is an experimental study on the performance characteristics and combustion characteristics of common-rail type diesel engine by using ultrasonic energy. It is carried out engine performance by engine dynamometer test and combustion characteristics using ultrasonically irradiated diesel fuel in comparison with using conventional diesel fuel. In analyzing the experiments of these results generally, these are obtained as follows. There is an affirmative effect on the side of the improvement of power and the reduction of smoke by applying the ultrasonically irradiated diesel fuel to the common rail engine. But there is less effect on the side of improvement of BSFC.

1. 서 론

지구 온난화 등의 환경적인 요인과 자원의 고갈 등으로 배출가스 규제와 대체에너지는 주요 관심사로 대두되고 있다.

바이오 디젤(Bio-diesel Fuel, BDF)은 현재 가장 주목을 받는 대체연료로 식물성 원료를 바탕으로 재생이 가능하며 경유와 연료 성상이 비슷하여 현재의 상용 디젤기관에 구조변경 없이도 적용 가능하다는 장점 때문에 많은 관심을 받고 있으며, 현재까지 각국의 지역 농산물의 따라 대두유, 폐식용유, 팜유 등 식물성 유지를 이용한 각기 다른 바이오 디젤유들이 연구되어 왔다.[1] 또한, 지금까지 시도되고 있는 디젤기관의 유해 배출물질 저감의 주된 기술 중에서 초음파에너지 조사에 의한 액체연료의 미립화 방법은 다른 방법에 비해서 비교적 분열이 잘되고 분무량이나 입경의 제어가 용이하며 사용하는 초음파의 주파수가 높은 만큼 미세한 분무입경이 얻어지는 장점을 가지고 있다. 선행 연구 자료에 의하면 초음파 에너지로 개질된 연료가 기관의 연소실내로 분무 시 연료의 미립화를 촉진시킴으로서 기관의 출력 상승 및 배출가스 저감에 효과가 있는 것으로 보고되어 있다.[2-4]

따라서 본 연구는 최근에 상용되고 있는 전자제어 방식의 커먼레일형 디젤기관에 초음파 조사 디젤 유를 적용하여 성능특성 및 배출물질 특성을 분석하고자 하며, 또한 초음파 에너지에 의하여 개질된 연료가 고압의 연료분무 환경에서도 긍정적인 영향이 미치는지 알아보고자 한다.

(2006년 3월 4일 접수 ~ 2006년 5월 27일 심사완료)
*충남대학교 대학원
**공주대학교 기계자동차공학부
***경문대학 자동차과
†책임저자, 회원, 충남대학교 기계공학부
E-mail : ryuji@cnu.ac.kr
TEL : (042)821-5644

2. 실험장치 및 방법

2.1 초음파 연료공급 장치

Fig. 1은 초음파 발진 장치의 개략도이다. 초음파 발진

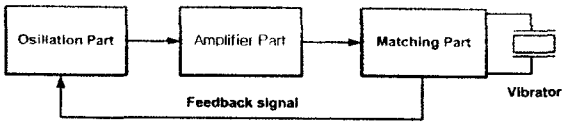


Fig. 1 Block diagram of ultrasonic oscillator system

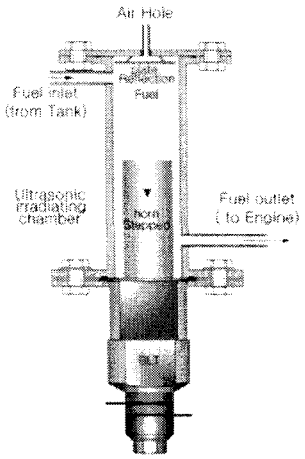


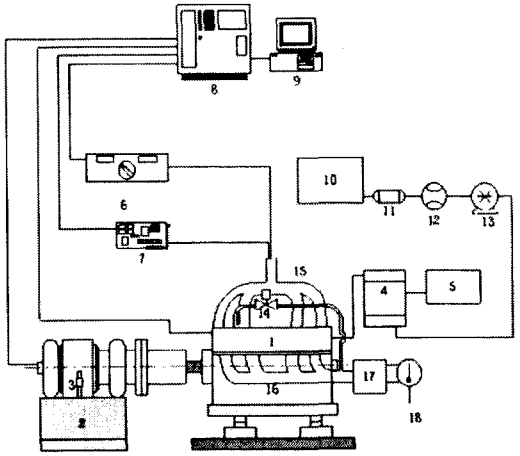
Fig. 2 Schematic diagram of ultrasonic fuel supply system

장치는 초음파 진동자에 전기신호를 가하여 기계적 진동 신호로서 초음파 출력을 내는 장치로 고주파를 발진하여 증폭부에 가해주는 발진부, 발진된 주파수로 진동자를 구동시킬 수 있는 전력으로 증폭해주는 증폭부, 증폭된 주파수를 진동자에 가해주는 정합부로 구성되어 있다.

초음파 조사장치는 진동자, 혼 및 반사판 등으로 구성되고 Fig. 2와 같다. 진동자는 볼트체결형 랑게빈 전왜 진동자를 사용하였고, 그 재원은 Table 1과 같다. 전원 220V로 초음파 발진기(2400W)를 작동시키면 진동자는 28 kHz로 진동하면서 혼을 통하여 초음파 에너지가 연료에 전달되는 구조로 되어있다. 초음파 에너지를 극대화하기 위해서 음의 전반사 조건이 가능하도록 반사판은 혼의 선단부로부터 (5/4)λ(초음파의 1파장) 떨어진 곳에 장착하였다. 또한 초음파 연료공급 장치의 챔버는 연료유량을 확인하여 1100cc로 하고 초음파 조사가 원활하도록 연료는 챔버의 하단으로 유입되어 상단의 출구로 나가도록 장치하였다. 또한 챔버내에서 초음파 공동현상으로 발생되는 기포[5]가 엔진으로 유입되면 엔진 부조와 고압 펌프, 인젝터 등에 손상을 일으킬 수 있으므로 기포의 유입을 방지하기 위해 초음파 챔버 상단에 에어홀(air hole)을 설치하여 기포를 배출하도록 하였다. 초음파 연료공급장치는 연료와 저압 연료 펌프 사이에

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)	3,000±15%
Maximum velocity (cm/s)	60
Maximum altitude (μm)	9.6
Dia. & Thickness (mm)	29.5 & 5



1. Common-rail engine	2.Dynamometer	3.Load cell
4.Ultrasonic fuel system	5.Ultrasonic generator	6.Smoke tester
7.NOx tester	8.Dynamometer controller	9.ControllerComputer
10.Fuel tank	11.Fuel filter	12.Fuel flowmeter
13.Fuel pump	14.EGR valve	15. Exhaust manifold
16.ntake manifold	17.Air filter	18.Air flowmeter

Fig. 3 Schematic diagram of test engine equipment

설치하였다.

2.2 기관성능 실험 장치

기관성능 실험장치의 개략도는 Fig. 3과 같다. 본 실험에 사용된 기관은 커먼레일형 직접분사방식 디젤엔진(common-rail type direct injection diesel engine; D-2.0*l*)이고 주요 제원은 Table 2에 나타내 었다.

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 가변

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	93.5dDA
Fuel injection	Bosch CR
Valve system	SOHC 4-Valve
Turbocharger	Wastegated t/c

시키는 방법으로 하였다. 즉, 기관회전속도 1000 rpm~3500 rpm까지 500 rpm 간격으로, 기관부하는 각 회전속도에서 상용 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. 연료소비율은 유체의 체적을 측정하는 방식으로 Hwanwoong Co. Model Fuel Consumption Meter을 사용하였다. 배기가스 중 NOx는 HORIBA사의 MEXA-554JK로, 매연은 (주)Eplus-T사의 op-120 광투과식 디지털 매연측정 장치를 이용하였으며 1분 동안 1초 간격으로 60회 측정하고 평균값을 광투과식 디지털 매연측정 장치를 이용하였으며 구하였다.

기관성능 및 배기가스 측정에 필요한 장치의 목록은 Table 3과 같다.

Table 3 Specification of measuring equipment

Items	Specifications
Dynamometer	Hwan-woong 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	Hwanwoong Co. Model Fuel Consumption Meter
NOx analyzer	HORIBA Co. type MEXA-554JK Measure type : Chemiluminesence 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 (Power)

Fig. 4는 엔진부하별 기관 회전수에 따른 출력 관계를 나타낸 것이다. 모든 부하범위에서 기관 회전수가 증가할수록 출력은 상승하였고, 초음파 조사 디젤유 사용으로 최대 약 11%까지 출력이 상승하였다. 또한 부하가 증가할수록 출력 상승률이 낮게 나타남을 알 수가 있었는데, 이는 부하가 증가함에 따라 챔버내에서 연료의 체류시간이 짧아져 초음파 조사에 의한 개질 효과가 감소했기 때문이라 볼 수 있다. 모든 범위의 출력 상승원인으로는 디젤연료가 초음파 조사 장치를 통과 하면서 초음파 에너지로 인하여 점도가 낮아지면서[4] 연료의 유동이 활발해지고 미립화되어 연소 촉진으로 인한 출력 상승으로 판단된다.

3.2 제동 연료소비율(Brake specific fuel consumption)

Fig. 5는 엔진부하별 기관 회전수에 따른 제동 연료소비율을 나타낸 것으로 단위 시간당 단위 일을 내는데 필요한 연료량을 엔진부하별 기관회전수에 따라 나타내었다. 그래프에서 초음파 조사된 디젤 연료가 상용 디젤유에 비해 대략 5~10% 정도 연료소비율 개선 효과가 있음을 확인 하였다. 그리고 각 부하별 높은 회전수 영역보다 낮은 회전수 영역에서 연료소비의개선 효과가 큰 것을 알 수가 있는데 이는 연료의 소비량이 적어지면서 고압의 연료관속에 있는 연료의 초음파조사 시간이 길어졌기 때문으로 판단된다. 또한 초음파 에너지의 공동 현상에 의하여 발생되는 가스를 연료에 혼입하여 공급할 경우 엔진 부조현상이 발생되므로 이 가스를 대기 중으로 배출시켰다. 만약 이 가스를 재순환 시킬 수 있는 방법을 강구한다면 보다 더 좋은 연료소비율을 나타낼 수 있을 것으로 판단된다.

3.3 매연(Smoke)

Fig. 6은 각 부하별 기관 회전수에 대한 매연의 배출 특성을 나타낸 것이다. 매연은 일반 디젤연료보다 초음파 조사 디젤연료가 모든 실험 운전 범위에서 최소 11%이상

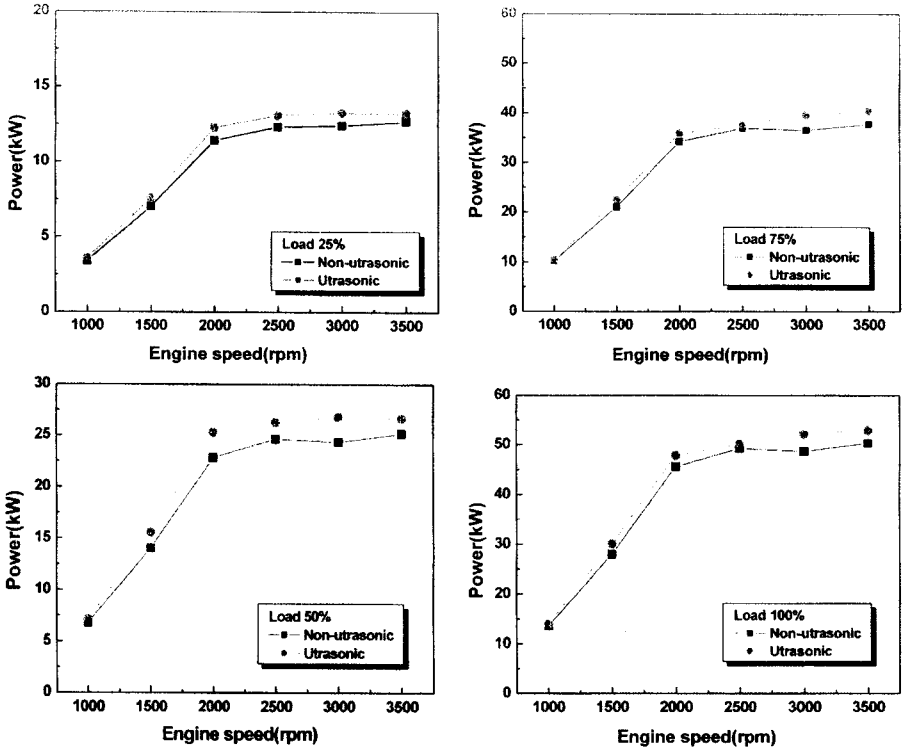


Fig. 4 Comparison of engine power under various engine speed at engine load 25%, 50%, 75%, 100%

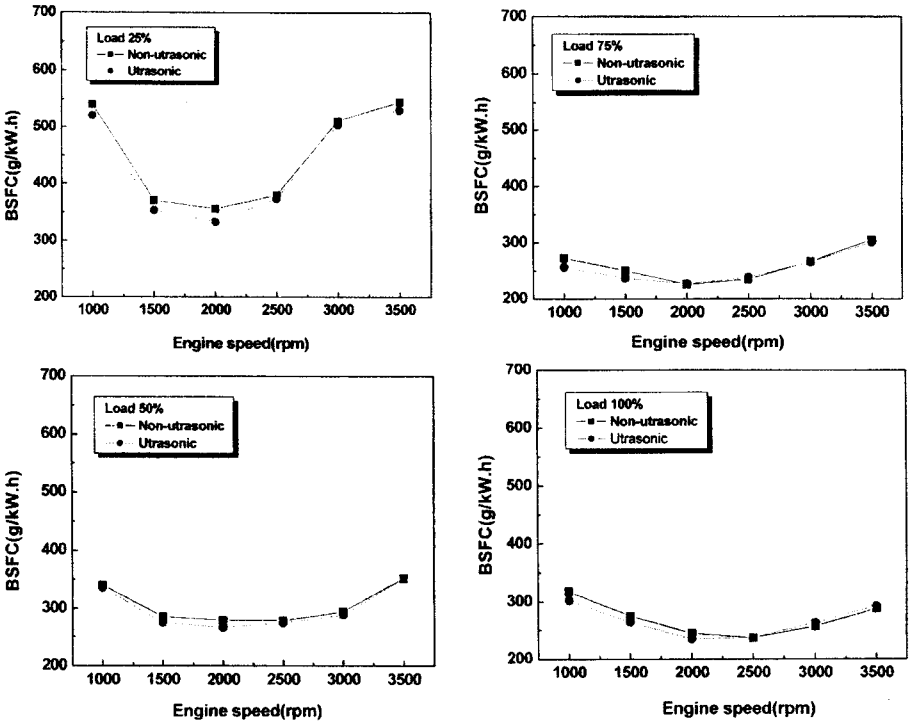


Fig. 5 Comparison of BSFC under various engine speed at engine load 25%, 50%, 75%, 100%

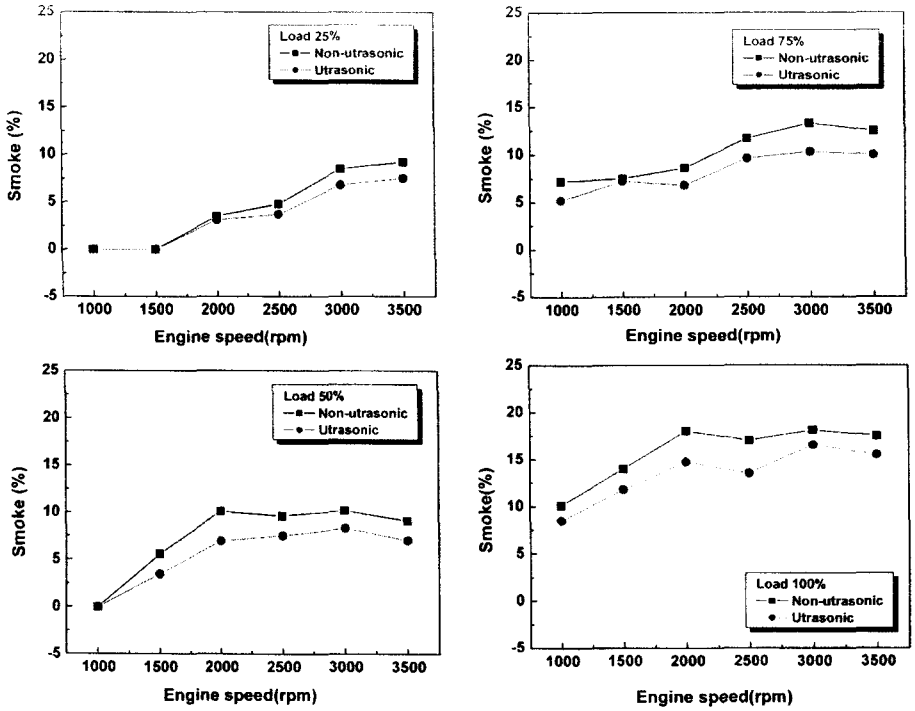


Fig. 6 Comparison of smoke under various engine speed at engine load 25%, 50%, 75%, 100%

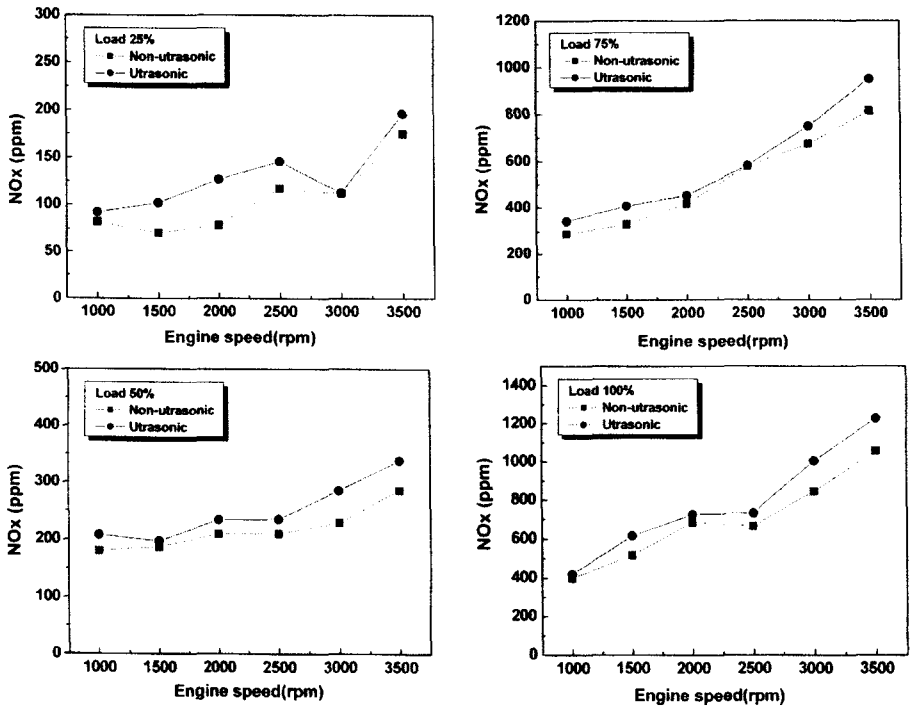


Fig. 7 Comparison of NOx under various engine speed at engine load 25%, 50%, 75%, 100%

최대 39%까지 감소하는 경향을 보인다. 부하 25% 경우 10%, 부하 50% 경우 18%, 부하 75% 경우 25% 그리고 부하 100%인 경우 15%의 전체적인 감소를 보인다. 또한 모든 부하에서 저회전수 영역에서 보다 고회전수 영역에서 매연이 더 큰 감소를 보이는데 이것 역시 연료에 초음파 에너지를 조사함에 따라 공동현상, 지향성 및 방사압 등과 같은 초음파 지배인자들의 영향으로 인해 연료가 개질됨으로서 기존 디젤연료에 비해 보다 작아진 점도 및 표면 장력에 의해 분사된 연료의 분무입경 감소에 의해 상대적으로 미립화가 잘되어 연소가 촉진되었기 때문으로 판단된다.

3.4 NOx

Fig. 7은 각 부하별 기관 회전수에 대한 NOx의 배출특성을 나타낸 것이다. 질소산화물은 일반 디젤 연료보다 초음파 조사 디젤연료가 모든 실험범위에서 최소 1%에서 최대 24%까지 높게 증가하였다. 또한 일반 디젤연료와 초음파 조사 디젤연료 모두 기관 회전속도가 증가함에 따라 질소산화물 생성량이 증가하였는데, 이는 회전속도의 증가에 따른 연소장 내의 난류증가로 연소율이 증가되어 기관 연소실의 온도가 상승하였기 때문으로 판단된다. 높은 질소산화물 증가의 원인은 초음파 조사에 의해 개질된 경유가 사용 연료에 비해 작아진 점도 및 표면 장력에 의해 분사된 연료의 분무입경 때문에 쉽게 증발, 시간당 연료소비량과 연소실내 연소온도 상승으로 상용연료에 비해 매우 높은 질소산화물이 생성된 것으로 판단된다.

또한 높은 회전수 영역에서는 초음파 효과가 감소하였음에도 불구하고 NOx의 배출량이 증가한 것은 함 산소 연료인 바이오 디젤유는 산소를 약 11% 함유하고 있어 활발한 연소가 진행된 것으로 판단된다. 이를 해결하기 위한 방법으로는 제동연료소비율을 크게 악화시키지 않거나 기관출력을 저하하지 않는 범위 내에서 분사지연 또는 후처리 장치의 사용으로 질소산화물을 줄이는 방법을 강구해야 할 것으로 판단된다.

4. 결 론

Common-rail 형 직접 분사식 디젤기관에서의 초음파 조사 디젤연료에 대한 기관 성능특성 및 배출물질 특성을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 모든 운전범위에서 출력은 상용 디젤연료보다 초음파 조사 연료가 미립화 되어 연소실내에서 미세하고 고르게 분사되어 연소가 촉진되어 최소 2%이상 최대 11%까지 향상되었다.

2) 제동 연료소비율은 초음파 조사하여 개질된 연료와 상용 디젤연료와 비교하여 5~10%정도 감소하였다.

3) 매연은 상용 디젤연료보다 초음파 조사 디젤연료가 낮은 점도와 표면장력을 가짐으로서 분무입경이 미립화 되어 모든 실험 운전 범위에서 최소 11%에서 최대 39%까지 감소하였다.

4) 초음파 조사 디젤연료의 연소촉진으로 연소실 온도가 상승함으로 모든 실험 운전범위에서 NOx는 최대 60%까지 높게 증가하였다.

참고문헌

(1) W. S. Kyle and C. S. Spencer, "Combustion of Soybean Oil Methyl Ester in a Direct Injection Diesel Engine," SAE 930934, 1993.

(2) 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.

(3) 최두석, "超音波 에너지 附加 디젤油의 噴霧특성과 機關性能特性에 關한 연구," 충남대학교 대학원 박사학위논문, 1996.

(4) 이병오, "超音波 改質 燃料의 디젤기관 諸性能에 關한 硏究," 충남대학교 대학원 박사학위논문, 2004.

(5) D. Ensminer, "Ultrasonics," 2nd Edn., Marcel Dekker, Inc., 1988.