

碩士學位論文

超音波에너지가 附加된 混合燃料를 이용한
機關의 性能에 관한 研究

濟州大學校 大學院



機械工學科
제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

夫 榮 進

2001年 12月

超音波에너지가 附加된 混合燃料를 이용한 機關의 性能에 관한 研究

指導教授 權 麒 麟

夫 榮 進

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2001年 12月

夫榮進의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 _____ 印

委 員 _____ 印

委 員 _____ 印

濟州大學校 大學院

2001年 12月

A Study on the Engine Performance using
Blend Fuel Oil added Ultrasonic Energy

Yung-Jin Boo

(Supervised by professor Ki-Rin Kwon)

A thesis submitted in partial fulfillment of the
requirement for the degree of Master of Engineering

Department of Mechanical Engineering
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

December 2001

목 차

Nomenclature	iii
List of Tables	iv
List of Photographs	iv
List of Figures	iv
SUMMARY	vi
I. 서 론	1
II. 이론적 고찰	3
1. 초음파 이론	3
1.1. 초음파의 음속	3
1.2. 초음파의 지향성	4
1.3. 음의 방사압	4
1.4. 공동현상	5
III. 실험장치 및 방법	7
1. 실험장치	7
1.1. 실험 엔진	7
1.2. 동력계	8
1.3. 초음파 연료공급장치	9
1.4. 기관성능	10
1.5. 혼합유	11

2. 실험방법	12
IV. 실험결과 및 고찰	19
1. 연료 소비량	19
2. 토크 및 제동 마력	22
3. 제동 연료소비율	28
4. 제동 열효율	31
V. 결 론	33
참 고 문 헌	34



Nomenclature

ASR	:	Auto speed regulation
ATR	:	Auto torque regulation
b	:	Fuel consumption [cc]
B	:	Fuel consumption per hour [ℓ/h]
be	:	Specific fuel consumption [g/ps · h]
BLT	:	Bolted Langevin type transducer
BO	:	Blend oil
BSFC	:	Brake specific fuel consumption [g/ps · h]
C	:	Velocity of ultrasonic wave[m/sec]
D_o	:	Droplet diameter
d	:	Nozzle diameter
e	:	Energy density
f	:	Frequency of sound [kHz]
$H \ell$:	Lower heating value [kcal/kg]
LO	:	Light oil
n	:	Engine speed [rpm]
P_e	:	Brake horse power [ps]
P	:	Reflectivity of plate
SMD	:	Sauter mean diameter
t	:	Time [sec]
T	:	Torque [kg · m]
	:	period of sound wave(sec ⁻¹)
UBO	:	Blend oil added ultrasonic
ULO	:	Light oil added ultrasonic
β_i	:	Compressibility
β_s	:	Adiabatic compressibility
ν	:	Specific gravity [g/cm ³]
η_e	:	Brake thermal efficiency [%]
λ	:	Wave length of sound[m]

List of Tables

Table 1 Specification of test engine	7
Table 2 Specification of eddy current dynamometer	8
Table 3 Specification of 28.5 kHz BLT	9
Table 4 Properties of the blend oil	11

List of Photographs

Photo. 1 Photograph of experimental apparatus	14
Photo. 2 Photograph of ultrasonic fuel feeding system	16
Photo. 3 Photograph of inner bolted langevin transducer	17
Photo. 4 Photograph of step type horn	18

List of Figures

Fig. 1 Schematic diagram of the engine performance testing system	13
Fig. 2 Flow chart of testing dynamometer	15
Fig. 3 Diagram of ultrasonic fuel feeding system	16
Fig. 4 Diagram of inner bolted langevin transducer	17
Fig. 5 Diagram of step type horn	18
Fig. 6 Relationship between fuel consumption and engine speed	20

Fig. 7 Comparison light oil to blend oil for ultrasonic adding effect in fuel consumption	21
Fig. 8 Relationship between torque and engine speed	24
Fig. 9 Comparison light oil to blend oil for ultrasonic adding effect in torque	25
Fig. 10 Relationship between brake horse power and engine speed	27
Fig. 11 Relationship between and engine speed	29
Fig. 12 Comparison light oil to blend oil for ultrasonic adding effect in BSFC	30
Fig. 13 Relationship between brake thermal efficiency and engine speed ·	32



SUMMARY

This is an experimental study on the possibility of, using a blend oil by ultrasonic adding in diesel engines. It is compared to engine torque, the rate of fuel consumption, the thermal efficiency and ultrasonic adding effect for engine speed. The results are obtained as follows :

1. Of all the fuel oil, it is indicated that the maximum torque is at 2000rpm and the torque is rapidly decreased according to increasing engine speed. When engine speed is more than 2400rpm, it is found that blend oil is lower and the blend oil of ultrasonic supply is the same, in compared with the torque of light oil.
2. To investigate the influence of ultrasonic adding for break fuel consumption, it is found that light oil increases the average to 2.05% and a maximum of 2.48% and blend oil increases the average to 5.99% and a maximum of 8.37%. As a result, blend oil has the higher effect of ultrasonic adding. In break horse power, the effect of ultrasonic adding is increased according to increased engine speed as a whole.
3. With the ultrasonic adding in fuel, the thermal efficiency is estimated average of 28.4% and maximum of 30.07% in light oil and average of 30.29% and maximum of 31.09% in blend oil. The



result confirms that blended oil is better than light oil for the improved effect of thermal efficiency with ultrasonic adding.

From the above results, in order to apply blend oil to engine fuel, it will be desirable to apply the very high added effect of ultrasonic energy, and also, thoroughly investigate the rapid drop of torque and thermal efficiency and the phenomenon that the amount of fuel consumption increases at high engine speeds.



I. 서 론

오늘날 전세계적으로 산업발전이 고속화됨에 따라 에너지 소비량이 증가로 인한 화석에너지의 의존한계성과 환경 문제가 대두되고 있다. 따라서 세계 각국이 에너지 절감 방법과 친환경적이고 화석에너지를 대체할 수 있는 새로운 에너지원의 개발에 적극 노력하고 있다.

새로운 에너지원으로 태양열, 조력, 파력, 풍력, 생물에너지 등에 대한 관심이 증가하고 있다. 그러나, 태양열, 조력, 풍력 등은 이용에 대하여 많은 제약성이 따라 한계성을 보이고 있다. 생물에너지인 경우 간단한 공정처리를 통해 수송, 저장 및 이용에 많은 장점과 재생산이 가능하다는 이유 등으로 많은 연구자들이 관심이 되고 있다. 특히, 식물유는 청정 대체에너지원으로 간단한 공정을 통해 디젤기관에 직접적으로 적용이 가능하고 배출가스로 인한 공해 억제 효과를 얻을 수 있어 주목받고 있다.

공해를 줄이고 화석 에너지 절감을 위한 방법으로 경유에 물을 혼합 사용하는 방안과 강구되고 있으며, 물 이외에도 산소와 에너지를 함유한 함수알콜을 혼합 사용하는 방법이 최근 새롭게 주목받고 있다¹⁾. 또한, 새로운 에너지로 생물 에너지의 일종인 식물유, 동물유, 에탄올 등을 내연기관의 연료로 사용하는 연구가 진행되고 있다. 식물유의 경우 공해 억제와 대량 재생산이 가능하여 새로운 대체에너지로써 매우 유망하다. 식물유에 대한 기초 연구로 고,²⁾ 하,³⁾ 오,⁴⁾ 등은 해바라기, 유채, 대두, 야자, 땅콩 등에 관한 생산성, 에너지성, 경제성에 대하여 조사 분석 연구를 통하여 연료로서의 가능성을 보였다. 또한, 내연기관의 연료로서 식물유의 이용가능성을 조사하기 위하여 일찍부터 많은 연구자들이 식물유의 휘발성, 저장성, 혼합성, 연소성 밀도, 점도 등을 규명하였다.

식물유의 경우 체적비 에너지 함량은 경유의 94%정도이며 경유보다 7-9%

무거울 뿐만 아니라, 점도가 11-17배로 높아 고점성 및 저휘발성 인하여 분사 시 무화상태가 나쁘며, 연소시 연소실내에 많은 양의 연소생성물이 퇴적하게 하는 등 개선되어야 할 점이 많은 것으로 나타난 연구가 있었다. 반면, 식물의 지방산은 기관의 탄소 퇴적을 감소시키며, 불포화성이 낮은 편은 경우 무화를 개선시킬 수 있으며, 식물유가 디젤유에 비하여 대기오염물질 배출이 극소하여 연료로서 장점을 가지고 있다. 식물유를 연료로써 다각적인 사용을 위해 고점성 및 저휘발성으로 인한 분사 및 연소 문제를 위한 보다 많은 연구가 이루어져야 할 것이다.

식물유 연료의 미립화 대한 기초연구를 살펴보면 연료의 예열 및 화학적 처리 등의 방법이 이용되고 있으며 최근 들어, 간단한 장치로 연료의 미립화를 개선시킬 수 있다는 장점으로 초음파를 이용한 미립화에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다.⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾ 따라서, 본 연구는 디젤기관에 식물혼합유의 적용 가능성을 살펴보고 식물유가 갖는 문제점을 해결하는 방법으로 초음파에너지 부가에 따른 영향을 살펴보고자 한다.

Ⅱ. 이론적 고찰

1. 초음파 이론

1.1. 초음파의 음속

초음파는 일반적으로 사람의 귀에 들리지 않는 주파수를 말하며 통상 20kHz 나 그 이상의 주파수를 가진 음파이나 엄격하게 규정하기는 어려움이 있다.

초음파는 음원에 의해 팽창과 압축 영역으로 이루어진 소밀파이며 음파의 압축과 압축, 팽창과 팽창사이의 거리를 파장(λ)이라 하며 1초 사이에 반복 되는 파장의 수가 주파수(f)이다. 매질중의 음의 전파속도⁹⁾를 C (m/s)라 하면


$$C = \lambda f \quad (2.1)$$

이며, 주기(T)는

$$T = \frac{1}{f} \quad (2.2)$$

이다. 음파가 액체 매질을 통과할 때 전단방향의 음파 진행은 빠르게 소멸하며 일반적으로 음파의 속도는 세로방향의 진행 속도를 의미한다. 액체 매질을 통과할 때의 음파속도⁹⁾는 액체의 밀도, 비열비, 단열압축비에 관계하며 다음 식과 같다.

$$C = \left(\frac{\gamma}{\rho\beta_i}\right)^{1/2} = (\rho\beta_s)^{-1/2} \quad (2.3)$$

1.2. 초음파의 지향성

주파수가 크고 높은 음은 진동면의 정면방향으로 집중 방사하고, 주파수가 작고 낮은 음은 정면과 횡 방향으로 방사된다. 음이 전 방향으로 방사되는 것이 아니라, 일정 방향으로 강하게 방사되는 성질을 음의 지향이라 부른다. 주파수가 높은 만큼 지향성은 날카롭고, 진동면의 직경과 음파의 파장 λ 와의 비가 클수록 지향성도 예리하게 된다. 즉, 음원의 직경이 일정할 경우 음파의 파장이 짧고 주파수가 클수록 지향성은 예리해 진다.

일반적으로 수백 kHz 이상의 고주파 초음파에서는 빛과 같이 직진하게 되므로 기하 광학적으로 취급한다. 따라서, 초음파의 전 에너지를 집중, 굴절 및 발산이 가능함에 따라 초음파에너지를 초점에 집중하면 매우 큰 음의 강도나 음압을 만들 수 있다.

1.3. 음의 방사압

연속적인 매질 중에 음이 전파할 때 매질입자가 평형위치에서 양방향으로 진동하여도 평형위치는 변하지 않고 매질을 이동한다. 그리고, 음파의 강도가 어느 임계값을 넘어서면 매질입자가 강한 초음파 진동과 동시에 매질 자체도 이동하게 된다. 이러한 현상을 방사압 이라 하며, 강한 초음파의 음장내에 물체를 두었을 때 그 물체가 받는 압력이 곧, 방사압이다. 방사압은 압축과 팽창이 가변되는 음압과 함께 존재하고 음의 강도에 비례하므로 음의 강도 측정에 이용된다. 또한, 파장에 비해 매우 큰판을 초음파의 입사방향과 직각으로 설치할 경우 방사압은 다음의 관계식을 갖는다.

$$P = e(1 + R) \quad (2.4)$$

여기서, P는 방사압, R은 판의 반사율, e는 입사파의 에너지밀도이다.

따라서, 음이 완전히 흡수하는 판에서는 $P=e$ 가 되며, 완전히 반사하는 판에서는 $P=2e$ 가 된다. 실제의 경우에 있어서는 매질 중에 초음파를 흡수되고 파가 진행함에 따라 초음파의 강도가 감쇄하여 방사압도 감소한다.

1.4. 공동현상

초음파에 의한 공동현상은 초음파 에너지에 의한 매질 내의 압력 변화에 의해 액체나 액체 중에 용존하고 있는 공기 분자가 집합과 성장과 발달 및 압피되는 현상을 말한다. 액체 내에는 종류, 온도 및 압력에 따라 기체를 용존하고 있고, 온도가 올라가거나 압력이 낮게되면 일부는 기포로 되고 액면에서 방출되어 액면이 증기로 덮여지게되므로 외력에서 공기는 내부에 용입되기 어렵게 된다. 실제의 공동현상은 공동 또는 기포가 원자나 분자의 크기에 비례하여 크게 되고 있지만 기포가 성장을 시작하는 최소의 종자를 기포핵이라고 부르며, 공동핵은 액중에 용해하여 존재하는 기포입자이다.

초음파에 의해 매질이 팽창과 압축이 반복하고 소밀파가 생기며 음압의 증감이 일어난다. 부압장에서 액체중의 기포핵이나 액존 공기분자가 집합하고 성장해서 기포를 발생한다. 기포는 더욱이 발달하여 최대로 되고, 과압장에서 기포는 점차 압축되어 공동소멸 또는 기포인 상태로 단열 압축되어 고온고압의 미소기포로 된 후 기포가 파괴하여 원래와 같이 분자 사이에 전개되어 쪼개어진다. 파괴의 순간에 매우 큰 순간압력에 의한 충격파가 발생하며, 액내에 격렬한 잡음이 발생하게 된다. 액체는 충돌과 파괴에 의한 압력이나 직진류가 가해짐에 따라 액면이 팽창하고 유괴가 생기므로 인해 주파수 고유의 미세한 분무가 발생하게 된다¹²⁾.

음압 진동에 따른 분무 액적의 변화는 주파수에 관계하며, 저주파수(10~100kHz)에 있어서 주파수와 액립의 크기(SMD)와의 관계는 Lang(식 2.5) 및

千葉近(식 2.6)¹³⁾의 실험식에 의해 다음과 같이 구할 수 있다.

$$SMD = k\lambda = k[8\pi\sigma/(\rho f_e^2)]^{1/3}, k = 0.34 \quad (2.5)$$

$$SMD = 190[\sigma/(\rho f_p^2)]^{1/3} \quad (2.6)$$



Ⅲ. 실험장치 및 방법

1. 실험장치

본 실험에서는 경유 및 혼합유에서 초음파 부가에 따른 영향을 살펴보기 위하여 4기통 고속디젤엔진, 동력계, 초음파연료공급장치 등으로 구성하였다. Fig. 1와 Photo. 1은 본 실험에 사용된 실험장치의 개략도와 사진을 나타낸 것이다.

1.1. 실험 엔진

본 실험에 사용된 엔진은 H사의 직렬 4기통 엔진이며, 연소실은 와류실식이다. 또한, 밸브형식은 OHC방식이며, 캠 샤프트는 코크식 타이밍 벨트에 의해 구동된다. 실린더에는 건식 실린더라이너가 압입되어 있으며, 2500cc의 엔진이다. 사양은 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Specification of test engine

Contents		Specification
Engine displacement [cc]		2476
Compression ratio		21
Compression pressure [kg/cm ² -rpm]		27-250
Max. power [ps/rpm]		80/4200
Max. torque [kg-m/rpm]		16.2/2200
Valve timing	Inlet open	BTDC 20°
	Inlet close	ABDC 49°
	Exhaust open	BBDC 55°
	Exhaust close	ATDC 22°

1.2. 동력계

본 실험에서 사용된 동력계(DYTEK-130, Hwanwoong Mechatronics Co., Ltd)는 기본적으로 동력계를 제어하는 동력계 컨트롤러와 동력을 흡수하는 동력계 본체로 구성되어 있으며, 정회전속도제어, 정토크제어, 급구배특성, 정전류특성제어 기능이 있다.

흡수 토크 검출은 스트레인 게이지 형의 로드 셀에 의해 검출된 전기적 신호를 컨트롤러 내부에 구성되어 있는 증폭기로 증폭하여 정확한 토크를 디지털 미터로 표시가 되며, 회전속도검출은 전자식 펄스발생기에 의해 발생하는 전기적 신호를 컨트롤러 내부에 구성되어 있는 전자회로에 의해 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환시켜 디지털 미터로 표시된다. 동력계의 여자 전류를 제어하기 위해서는 사이리스터를 사용하여 교류전원의 위상각을 제어하도록 되어 있다. Fig. 2는 동력계의 작동 흐름도이며, 주요사양은 Table 2에 나타내었다.



Table 2 Specification of eddy current dynamometer

Contents	Specification
Absorption capacity	180 ps
Absorption torque	35 kg-m
Max. RPM	9000 rpm
Torque detector	Load cell type Sensitivity : 2mV/V
Cooling method	Water cooling system
Water pressure	0.7kg/cm ² more
Lubrication system	Grease lubrication
Dynamometer weight	300kg

1.3. 초음파 연료공급장치

초음파 에너지 부가에 의한 연료의 무화는 공동현상에 의한 것이 지배적이기 때문에 연료공급장치는 공동현상을 극대화시킬 수 있도록 초음파의 주파수 및 진폭 등을 고려한 구조로 제작하였다¹⁶⁾. Fig. 3과 Photo. 2는 본 실험에서 사용한 초음파 연료공급장치를 나타낸 것이다. Fig. 3과 Photo. 2에서 보는 바와 같이 초음파 발생을 위한 진동자, 진폭 확대를 위한 혼 및 반사판으로 구성되어 있다.

초음파발진장치 및 진동자는 매질 혹은 주파수에 따라 압전형, Langevin형, 자왜형 및 전왜형 등¹⁰⁾이 있다. 초음파 연료공급장치에 사용된 진동자는 고온, 고압과 진동에 견디며 부착이 용이하고 내구성 등을 고려하여 28.5kHz의 진동특성을 갖는 볼트체결형을 선택하였다.

Fig. 4와 Photo. 3은 BLT형 진동자를 나타낸 것이다. Fig. 4와 Photo. 3에서 보면 두 개의 다른 금속판사이에 수정판을 모자이크 상으로 모아 접착 또는 볼트 체결하여 저주파수의 강한 초음파를 얻을 수 있는 진동자이며, 볼트 체결 방식이므로 두 금속판의 열팽창계수가 달라도 떨어지는 일이 없다. Table 3은 실험에 이용된 진동자의 특성¹⁶⁾을 나타낸다.

Table 3 Specification of 28.5 kHz-BLT

Frequency (kHz)	Admittance (mΩ)	Thermal Quality (Qm)	Capacity (pF)	Maximum Velocity (cm/s)	Maximum Altitude (μm)	Dia. & Thickness (mm)	Parts (ea)
28.5±0.4	35±7	1,000	3000±15	60	9.6	Φ29.5, 5	2

진동자를 진동시킨 후의 진폭은 진동자의 강도에 따라 한계가 있기 때문에 진동자의 작은 진폭으로부터 이용할 수 있는 큰 진폭을 얻기 위해서는 진폭

을 확대시키는 혼을 제작하여 진동자에 부착하였다.

Fig. 5는 혼의 개략도를 보여 주고 있다. 진동의 진폭 확대율은 진동의 입력면(S1)의 단면과 출력면 단면(S2)의 면적비로 이루어진다. 또한, 공진 주파수가 28.5kHz일 때, 음속전달계수, $C=\lambda f$ 즉, $\lambda=C/f$ 가 되므로 진폭확대자 재질의 음속전달계수에 의해 파장(λ)과 진폭이 최대인 경우($L1=L2=\lambda/4$)를 고려하여 진폭은 최대가 되도록 혼을 제작하였다.

반사판은 초음파가 초음파 연료공급장치 내에서 정재파가 형성될 수 있도록 하고 공동현상이 극대화될 수 있도록 하기 위하여 음향 임피던스가 충분히 큰 재료로서 유리판을 가공 제작하여 설치하였다.

1.4. 기관성능

기관성능 실험에 있어서의 성능 비교를 위한 연료소모량, 연료소비율, 제동 마력 및 제동열효율 계산식은¹⁷⁾ (2.7), (2.8), (2.9), (2.10)과 같다.

$$B = \frac{3600 \times b}{1000 \times t} = 3.6 \times \frac{b}{t} \quad (2.7)$$

$$b_e = \frac{1000 \times B \cdot \gamma}{p_e} \quad (2.8)$$

$$\eta_e = \frac{632 \times p_e}{B \cdot \gamma \cdot H_e} = \frac{632}{b_e \cdot H_e} \times 1000 \quad (2.9)$$

$$p_e = 2\pi \frac{Tn}{(60 \times 75)} = \frac{Tn}{716.20} \quad (2.10)$$

1.5. 혼합유

본 실험에서 사용한 연료는 유채유와 경유를 온도 20℃에서 용적비 50:50의 비율로 혼합한 혼합유를 사용하였다. 사용 연료의 특성을 살펴보면 비중은 순수 경유일 때 0.8350이고, 혼합유일 때가 0.8657이고, 발열량은 순수 경유일 때 10,600kcal/kg, 혼합유일 때는 9,720kcal/kg으로 나타나 혼합유의 발열량은 순수 경유의 96%정도이다. 인화점은 순수 경유일 때 61℃이며 혼합유일 때 92℃이다. 이와 같이 연료유의 물리적 화학적 특성은 고²⁾의 기초연구자료를 제공한바 있다. 본 실험에서 사용한 식물유인 유채유와 경유를 혼합한 혼합유의 물리적 및 화학적 특성은 Table 4와 같다.

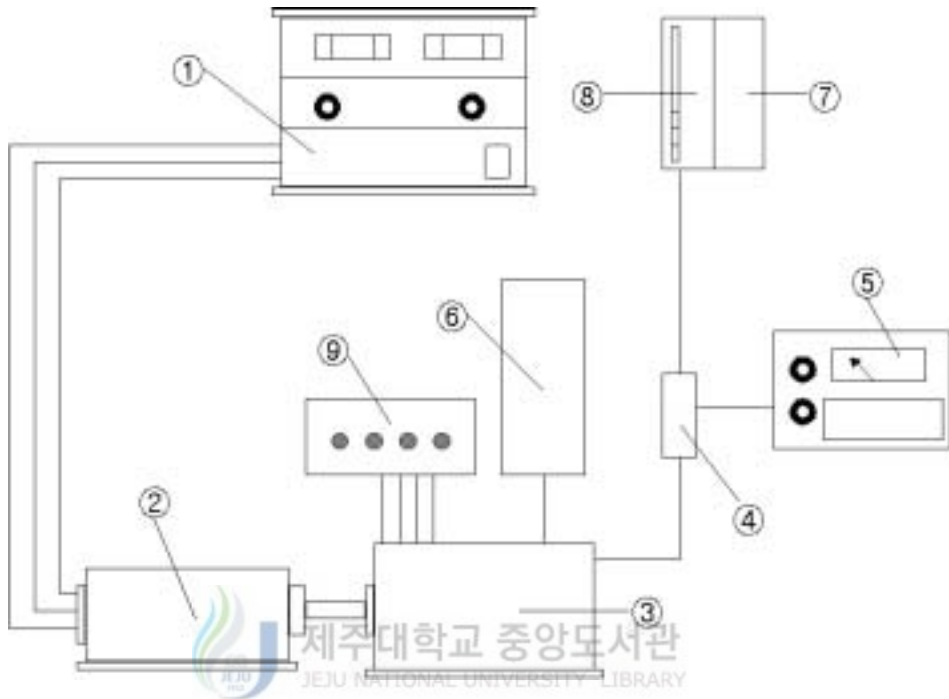
Table 4 Properties of the blend oil

Blended ratio		Specific gravity at 20℃	Lower heating value (kcal/kg)	Flash point (. C)	Viscosity at 30℃ (Cst)
Light oil (%)	Rape seed oil (%)				
100	0	0.8350	10,600	61	3.53
90	10	0.8416	10,480	62	4.50
80	20	0.8430	10,390	63	5.42
70	30	0.8480	10,310	71	7.91
60	40	0.8576	10,220	80	11.21
50	50	0.8657	10,130	92	15.73
40	60	0.8770	10,060	126	23.43
30	70	0.8867	9,970	177	29.42
20	80	0.8931	9,890	282	36.23
10	90	0.9036	9,790	298	43.72
0	100	0.9190	9,720	318	50.81

2. 실험방법

엔진의 성능시험방법은 일반적인 연료공급장치를 장착한 경우와 초음파 연료공급장치를 부착한 경우에 대하여 실험을 수행하였다. 초음파 연료공급장치를 장착한 경우 Fig. 3의 인젝션 펌프 컨트롤레버를 완전히 개도하여 엔진의 회전수를 제어하는 방식인 속도 고정법으로 회전수 1400rpm에서 200rpm씩 증가하여 2400rpm까지 변화시킨 경우에 있어서 엔진성능시험을 수행하였다.

사용 엔진의 예비실험을 위하여 무부하에서 약 30분정도 운전을 실시하여 엔진의 사용회전수, 진동 및 소음 등에서 전반적으로 이상이 없음을 우선적으로 확인하여 특성치를 측정하였다. 연료소비량은 용적식 측정방법으로 뷰렛의 200ml연료를 소비하는데 걸리는 시간을 초시계로 측정하여 시간당의 연료소비량(l/h)로 나타내었다. 엔진 토크, 회전수는 디지털 인디케이터에 나타나는 값을 직접 읽었다. 실험 중 대기온도는 $24^{\circ}\text{C} \sim 28^{\circ}\text{C}$, 상대습도는 40%~63%이었다. 실험 중에는 엔진의 회전속도가 안정된 최적상태로 유지함을 확인한 후 엔진성능, 엔진토크, 엔진회전수, 연료소비율 등을 측정하였다. 실험처리별 측정값은 10분 동안 동일조건으로 운전하면서 구하였다.



- ① Main control console
- ② Eddy current dynamometer
- ③ Engine
- ④ Ultrasonic fuel supply device
- ⑤ Ultrasonic generator
- ⑥ Engine cooling water tank
- ⑦ Fuel Tank
- ⑧ Flowmeter
- ⑨ Temperature sensor panel

Fig. 1 Schematic diagram of the engine performance testing system



Photo. 1 Photograph of experimental apparatus

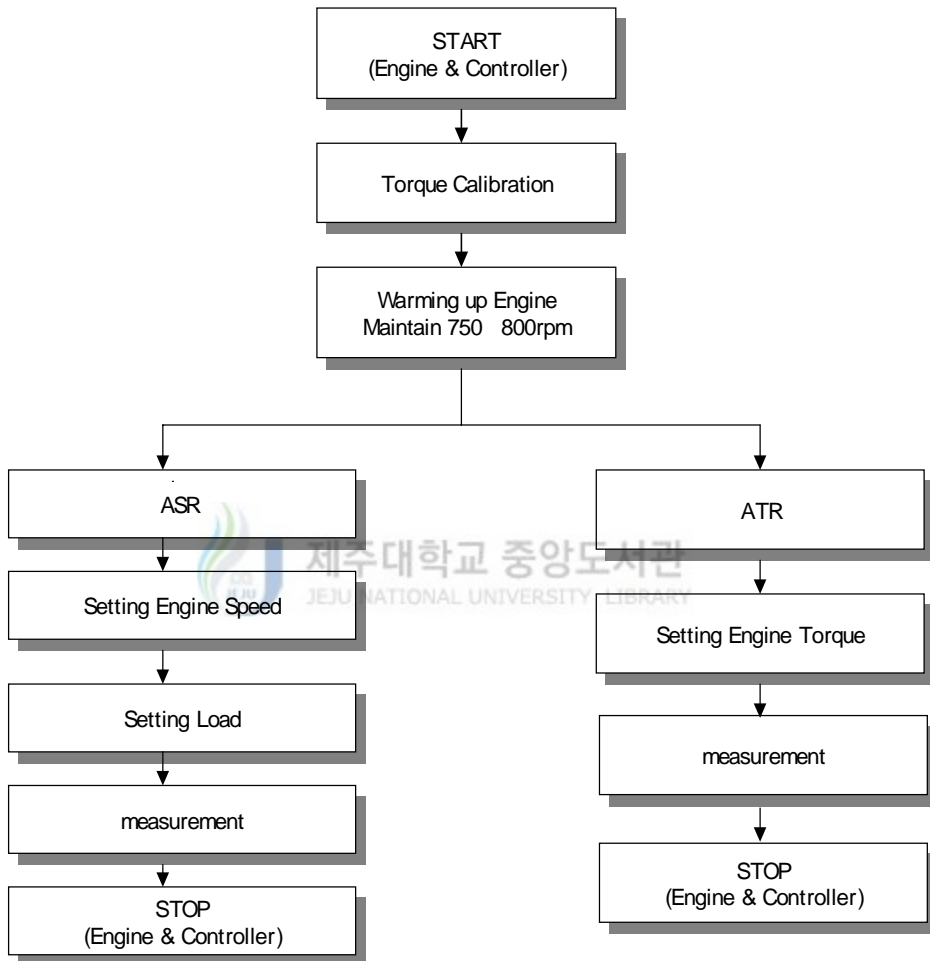
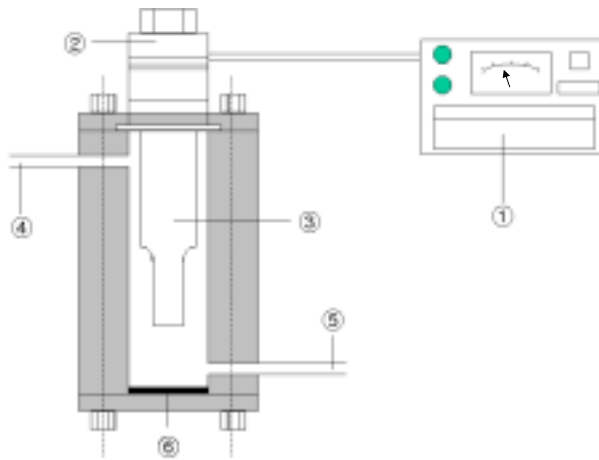


Fig. 2 Flow chart of testing dynamometer



- | | |
|------------------------------|--------------------|
| ① Ultrasonic generator | ④ Fuel inlet port |
| ② Bolted Langevin transducer | ⑤ Fuel outlet port |
| ③ Horn | ⑥ Glass plate |

Fig. 3 Diagram of ultrasonic fuel feeding system

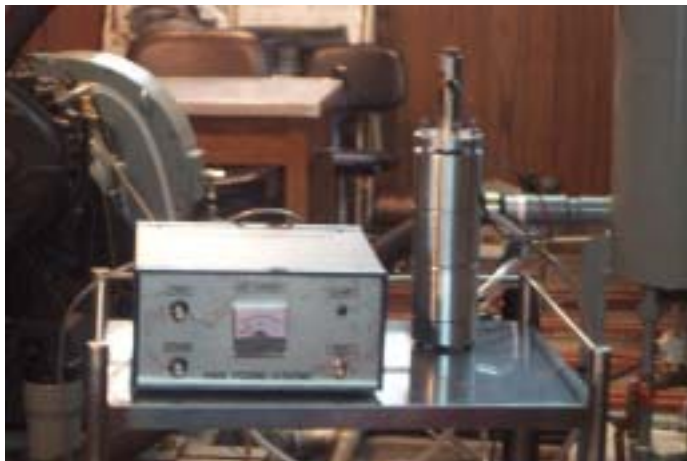
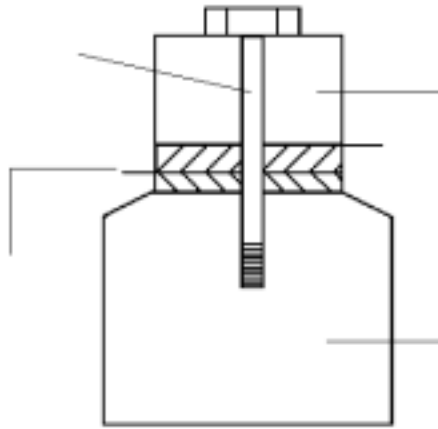


Photo. 2 Photograph of ultrasonic fuel feeding system



① Bolt ② Metal block ③ Transducer

Fig. 4 Diagram of inner bolted langevin transducer



Photo. 3. Photograph of inner bolted langevin transducer

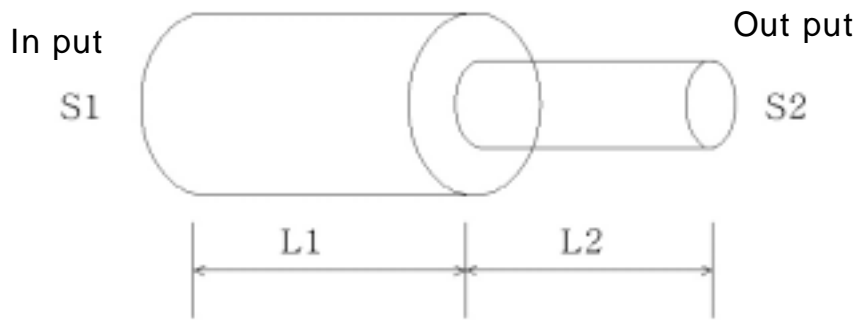


Fig. 5 Diagram of step type horn



Photo. 4 Photograph of step type horn

IV. 실험결과 및 고찰

본 실험에서는 경유 및 혼합유에서 초음파에너지 부가에 따른 영향을 살펴 보기 위하여 순수 경유, 초음파 부가 경유, 순수 혼합유 그리고 초음파 부가 혼합유에 대하여 엔진 성능에 관한 실험을 수행하였다.

1. 연료 소비량

Fig. 6은 회전수(rpm)에 따른 시간당 연료소비량을 나타낸 것이다. 그림 Fig. 6에서 보면 모든 연료유에서 회전수가 증가함에 따라 연료 소비량이 점점 증가하는 일반적 엔진의 특성을 보여주고 있다. 또한, 경유나 초음파 부가 경유에 비해 혼합유나 초음파 부가 혼합유인 경우에서 회전수가 커질수록 급격히 증가하고 있다.

초음파 부가에 따른 연료 소비량의 영향을 그림 Fig. 7에 나타내었다. 경유의 경우 초음파 부가시 초기 회전수가 증가함에 따라 연료 소비량 감소율이 증가하고 2000rpm에서 최대 감소율을 보인 후 다시 감소하는 경향을 보이고 있다. 그리고, 혼합유의 경우에는 낮은 회전수에서 연료 소비량 감소율이 감소하여 최소치를 나타낸 후 회전수가 증가함에 따라 급격히 증가하여 경유의 경우와 다른 특성을 보여주고 있다.

초음파 부가에 대해서는 실험 영역에서 평균 1.42%, 최대 1.93%의 감소율을 보이고 있다. 또한, 혼합유에서 초음파 부가에 따른 연료 감소율은 평균 5.74%이고 최대값은 본 실험 영역의 최대 회전수인 2000rpm에서 8.76%의 값을 얻을 수 있었다. 따라서 경유보다 혼합유의 경우가 초음파 부가에 의한 효과가 크게 나타나고 있다.

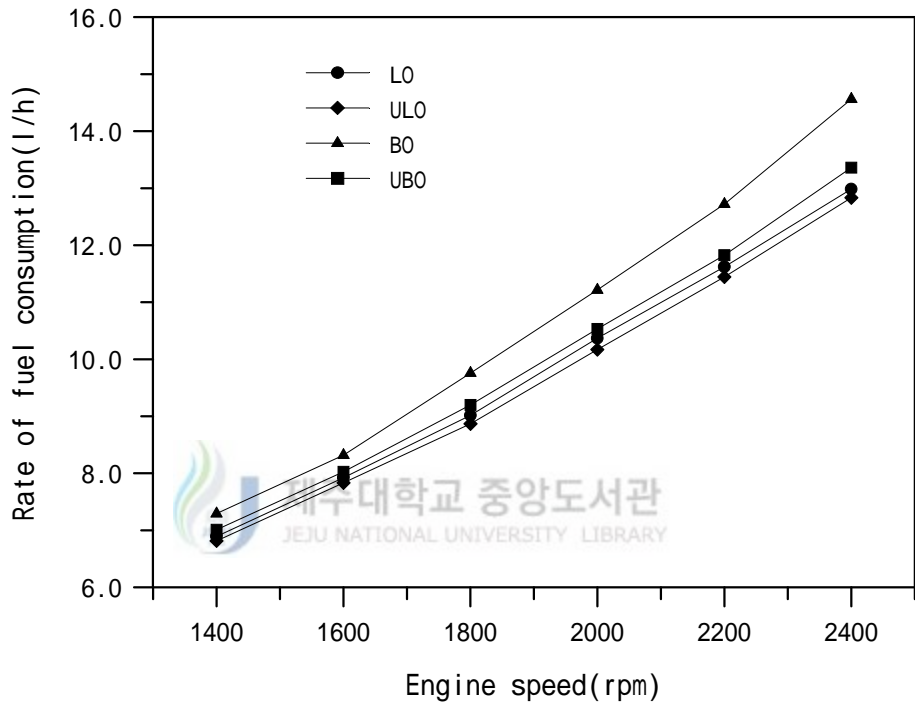


Fig. 6 Relationship between fuel consumption and engine speed

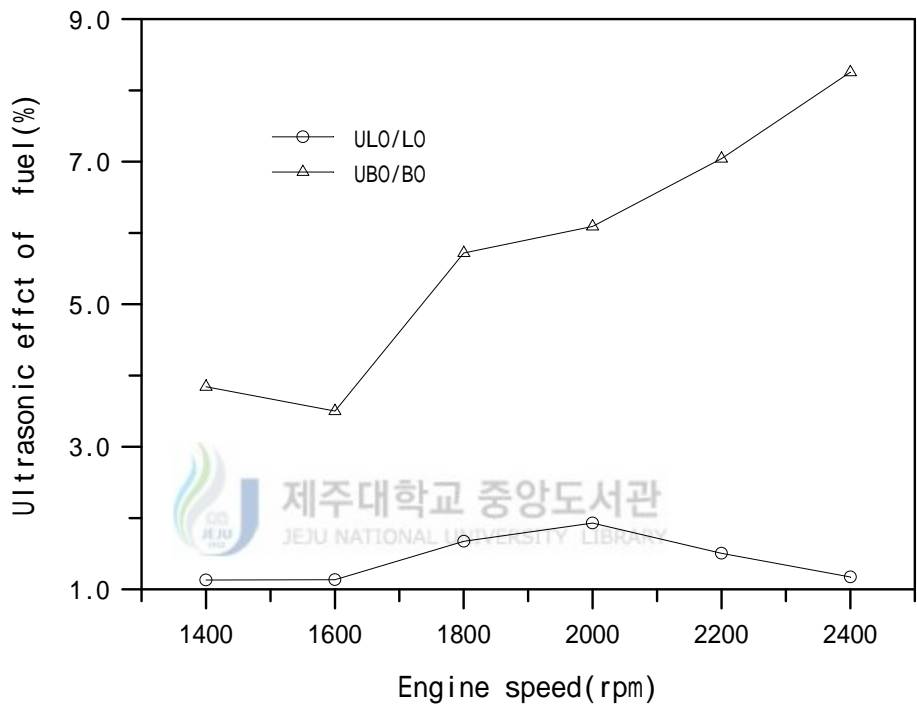


Fig. 7 Comparison light oil to blend oil for ultrasonic adding effect in fuel consumption

2. 토크 및 제동 마력

경유, 초음파 경유, 혼합유 및 초음파 부가 혼합유에 대하여 회전수에 따른 토크의 변화를 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 8에서 보면 또한 모든 연료유에서 최대 토크는 2000rpm에서 나타나고 있고 경유에 비해 다른 연료유가 보다 큰 토크 값을 가지고 있고 초음파 부가 혼합유의 경우가 가장 큰 토크 값을 보이고 있다. 혼합유 및 초음파 부가 혼합유의 회전수에 따른 토크 변화를 살펴 보면 낮은 회전수에서 경유에 비해 상당히 큰 토크가 나타나고, 2000rpm에서 최대 토크를 가진 후 회전수가 증가할수록 토크가 급격히 감소하여 2400rpm에 이르러 경유의 토크 값에 비하여 혼합유의 경우 낮은 토크를 나타내고 초음파 부가 혼합유의 경우 같은 토크를 보이고 있다.

본 실험 조건에서 혼합유는 평균 0.61%, 최대 1.52%정도 증가하고 초음파 부가 혼합유는 평균 0.87%, 최대 1.65%정도 증가하고 있다. 이와 같이 낮은 회전수에서 경유에 비해 큰 토크를 가지는 특성은 혼합유의 연소 과정 중 폭발과정에서 연소 지연으로 인한 폭발에 의한 회전 속도의 가속이 경유에 비해 지연되어 연료 분사 시간이 길어지고 폭발시간의 길어짐에 따라 폭발에 의한 압력 상승기간이 길어져 전체적으로 토크가 커지는 것으로 생각되며, 이에 관한 추가적 연구가 필요하다고 사료된다.

초음파 부가에 따른 토크 상승 효과를 경유와 혼합유에 대하여 Fig. 9에 나타내었다. 경유와 혼합유의 초음파 부가에 따른 토크 상승 효과를 나타내기 위해 경유/초음파 부가 경유 및 혼합유/초음파 부가 혼합유의 토크 상승 비율을 비교하였다. 초음파를 부가하였을 때 경유는 실험 조건에서 평균 0.64%, 최대 1.32% 그리고 혼합유인 경우에는 평균 0.26%, 최대 0.56%으로 나타나 초음파 부가에 따른 토크 상승 효과는 경유에서 더 많이 나타나고 있다. 그리고, 경유에서는 낮은 회전수에서 초음파 부가에 따른 토크 상승 효과가 크게 나타나고 회전수가 증가할수록 점차 감소하는 경향을 보이지만 혼합유인 경우에는 회전수 증가에 따라 토크 상승 효과가 증가하다 감소하여 초음파 부

가에 따른 토크 상승 효과가 최대 회전수인 2000rpm에서 나타나는 특징을 보이고 있다.

Fig. 10은 경유, 초음파 부가 경유, 혼합유, 초음파 부가 혼합유를 사용하여 얻은 제동 마력을 회전수에 대하여 나타낸 것이다. 그림에서 보면 낮은 회전수에서는 경유에 비해 혼합유가 제동마력이 크게 나타나고 회전수 증가할수록 경유가 크게 나타나고 있고, 초음파 부가에 의한 제동마력은 경유의 경우 최대 1.32%, 혼합유인 경우 0.56%정도 나타나고 있다. 이와 같이 낮은 회전수에서 경유에 비해 혼합유가 연료 소비율에 비해 토크 상승이 크기 때문에 사료된다.



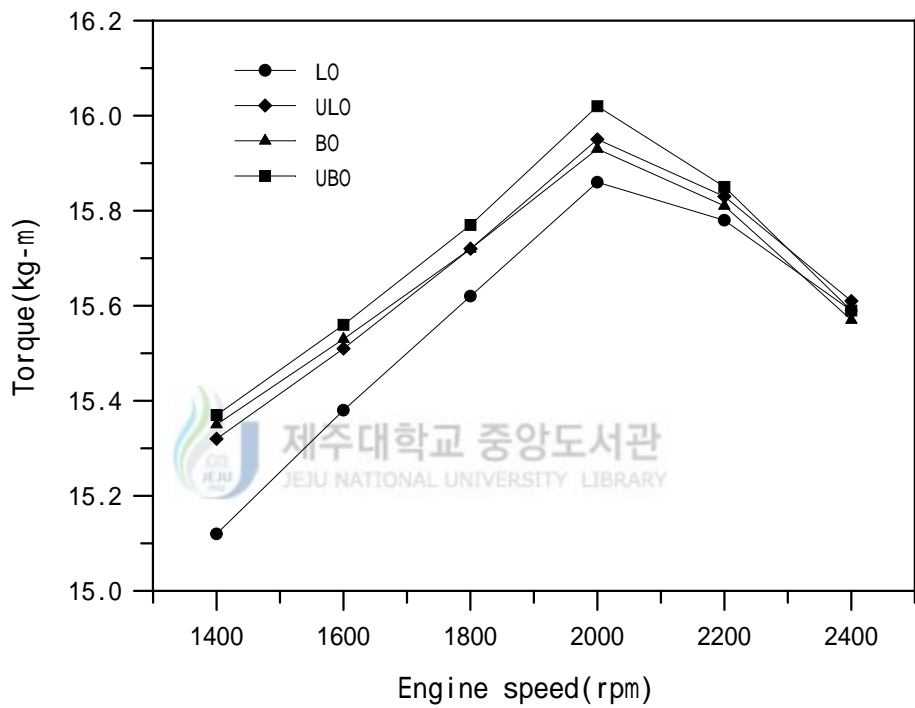


Fig. 8 Relationship between torque and engine speed

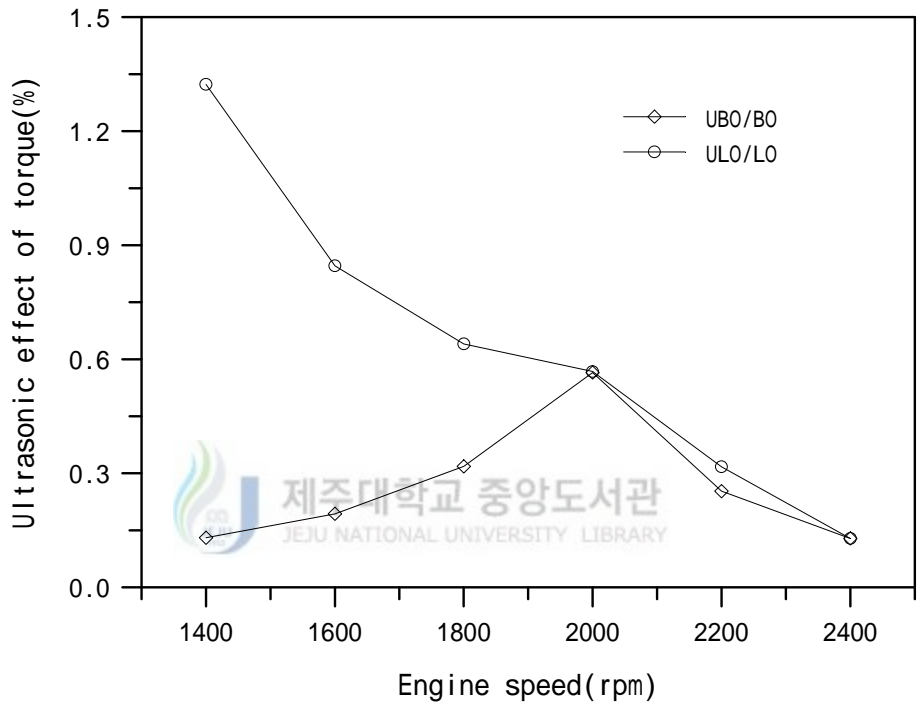


Fig. 9 Comparison light oil to blend oil for ultrasonic adding effect in torque

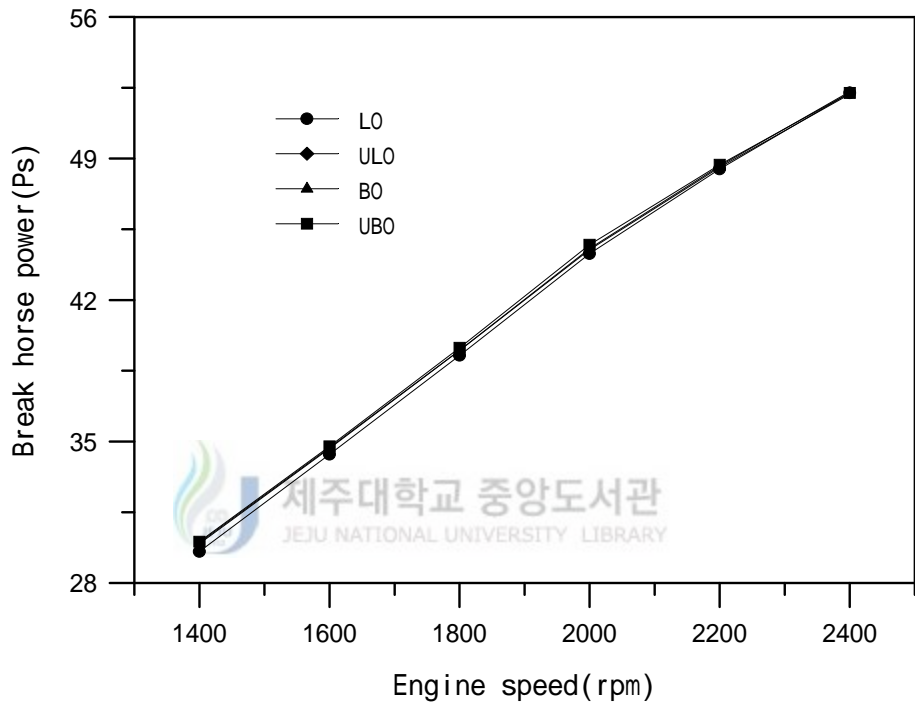


Fig. 10 Relationship between brake horse power and engine speed

3. 제동 연료소비율

Fig. 11은 회전수에 따른 제동 연료소비율을 나타내고 있다. Fig. 11에서 보면 혼합유에 비해 경유가 제동 연료소비율이 비교적 적게 나타나고 있고, 전체적으로 낮은 회전수에서 회전수가 증가함에 따라 감소하다가 최소값에 이른 후 다시 회전수가 증가함에 따라 급격히 감소하는 경향을 보이고 있다. 그리고, 경유에 비해 혼합유가 낮은 회전수에서 최소 제동 연료소비율이 나타나고 있는 특징을 보이고 있는데 혼합유가 경유보다 연소시간이 길어 회전수가 커질수록 불완전 연소가 증가하는 것으로 사료된다.

초음파 부가에 따른 제동 연료소비율 감소 효과를 Fig. 12에 나타내었다. 초음파 부가에 따른 제동 연료소비율 감소는 경유는 평균 2.05%, 최대 2.48%이며, 혼합유는 평균 5.99%, 최대 8.37%로 혼합유인 경우가 초음파 부가의 효과가 매우 큰 것으로 나타나고 있다. 그리고, 초음파 부가에 따른 영향을 살펴보면 경유인 경우 낮은 회전수에서 큰 변화 없이 일정하게 나타나며 회전수가 2000rpm 이후 감소하는 경향을 보인 반면, 혼합유인 경우 매우 낮은 회전수 1400rpm를 제외하고는 초음파 부가에 따른 제동 연료 감소 효과는 회전수가 증가 할수록 증가하여 경유와 다른 경향을 보이고 있다.

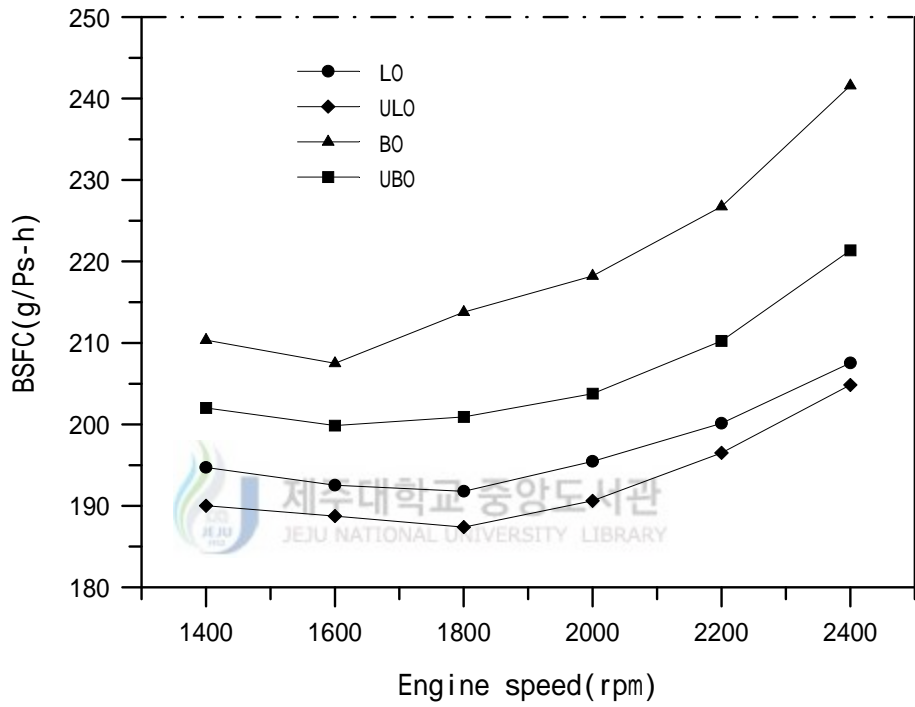


Fig. 11 Relationship between BSFC and engine speed

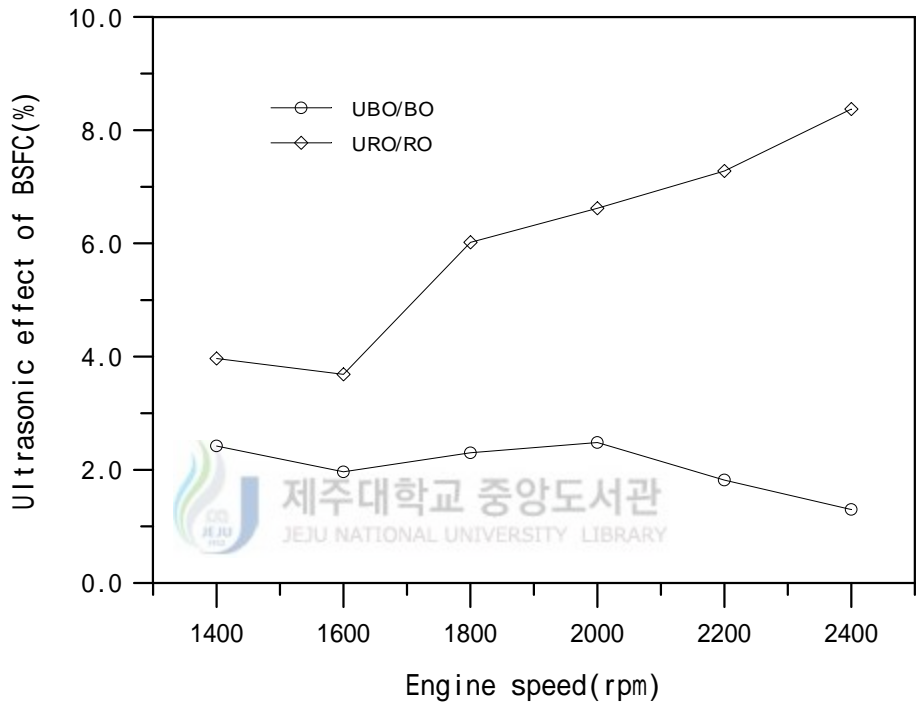


Fig. 12 Comparison light oil to blend oil for ultrasonic adding effect in BSFC

4. 제동 열효율

Fig. 13은 회전수 증가에 따른 열효율의 변화를 나타내었다. Fig. 13에서 보면 혼합유는 열효율이 실험조건에서 평균 28.47% 최대 30.07%이고 경유는 평균 30.29%, 최대 31.09%로 측정되어 혼합유인 경우 경유에 비해 열효율이 매우 낮게 나타나고 있다. 또한, 혼합유나 초음파 부가 혼합유에서의 최대 열효율을 보이는 회전수는 1600rpm으로 경유나 초음파 부가 경유에서의 1800rpm에 비해 낮은 회전수에서 보이고 있다. 특히, 혼합유에서 최대 열효율이 나타나는 회전수 이후에는 회전수가 증가함에 따른 열효율의 감소 정도가 경유에 비해 매우 떨어지는 특징을 보이고 있다. 이는 혼합유가 경유에 비해 온도가 높고 연소 시간이 길어짐에 따라 높은 회전수에서 완전 연소를 위한 충분한 연소 시간이 없어 불완전 연소가 크게 증가하기 때문으로 사료된다.

본 실험 조건에서 초음파 부가 혼합유의 경우 평균 30.26% 최대 31.21%이고 혼합유의 경우 평균 28.47% 최대 30.07%로 초음파 부가에 의한 열효율 개선 효과는 경유에 비해 혼합유인 경우가 크게 나타나고 있다. 초음파를 부가한 혼합유는 열효율이 평균 경유와 비슷한 열효율을 보이고 있고 낮은 회전수에서는 경유보다 효율이 크게 나타나고 있다. 반면, 최대 효율이 나타나는 1600rpm 이후부터는 회전수가 증가함에 따라 열효율이 갑자기 떨어지는 현상을 보이고 있다. 이는 경유와 혼합유가 갖는 연료 특성중 연소 과정에서 연소속도, 발화온도 등 연소 특성의 차이에 기인한다고 여겨진다.

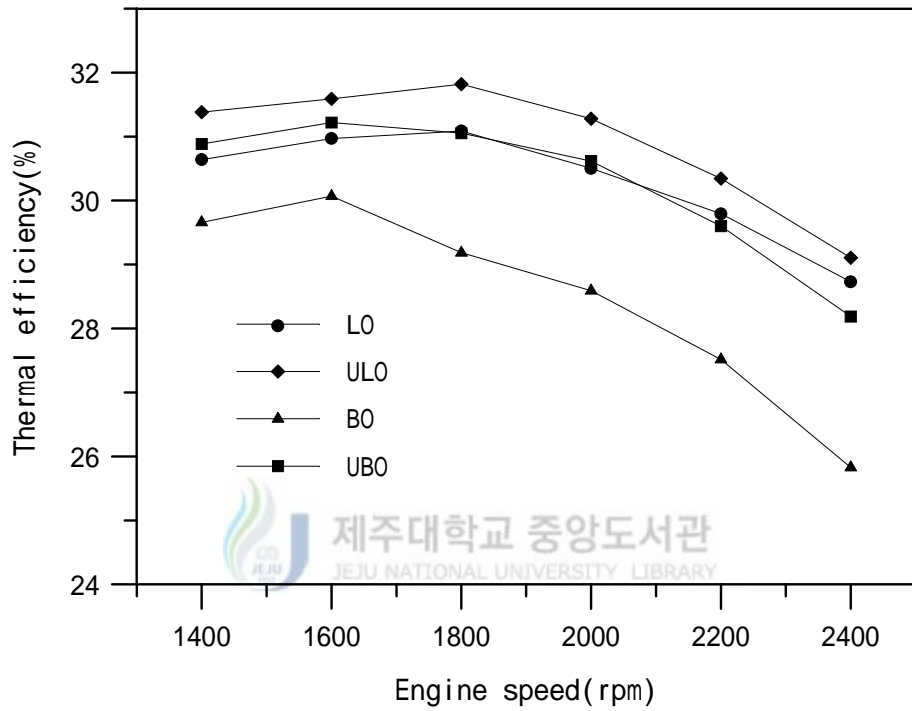


Fig. 13 Relationship between brake thermal efficiency and engine speed

V. 결 론

본 연구는 혼합유 초음파 에너지를 부가한 디젤·유채 혼합유가 디젤엔진의 대체연료용의 사용가능성을 살펴보고자 실험하여 엔진토크 및 제동 연료 소비율, 제동열효율을 비교 분석하여 보면 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- 1) 모든 연료유에서 최대 토크는 2000rpm에서 나타나고 있으며, 회전수가 증가할수록 토크가 급격히 감소하여 2400rpm에 이르러 경유의 토크 값에 비하여 혼합유의 경우 낮은 토크를 나타내고 초음파 부가 혼합유의 경우 같은 토크 값을 보이고 있다.
- 2) 초음파 부가에 따른 제동연소율 감소는 경유는 평균 2.05%, 최대 2.48%이며 혼합유는 평균 5.99%, 최대 8.37%로 혼합유인 경우가 초음파 부가의 효과가 매우 큰 것으로 나타나고 있다. 초음파 부가에 따른 제동 연료 감소 효과는 회전수가 증가할수록 증가하는 경향을 보이고 있다.
- 3) 제동열효율은 초음파 부가 혼합유의 경우 평균 30.26%, 최대 31.21%이고 경유의 경우 평균 28.47% 최대 30.07%로 초음파 부가에 의한 열효율 개선 효과는 경유에 비해 혼합유인 경우가 크게 나타나고 있다.

위 결과로부터 혼합유를 기관의 연료로 적용하기 위해서는 초음파 에너지의 부가 효과가 매우 크므로 이를 적용하는 것이 바람직하고 혼합유가 갖는 높은 회전수에서의 토크 및 열효율의 급격한 감소와 연료 소비량이 증가하는 현상에 대한 충분한 연구가 요구되어 진다.

참 고 문 헌

1. 한국에너지기술연구소, “에너지절약형 저공해 연소시스템 개발”, 과학기술처 제3차년도 최종보고서, 1996.
2. 고장권, “대체연료로서 유체유를 사용한 소형농용 디젤기관의 성능향상에 관한 실험적 연구”, 박사학위논문, 경상대학교, 1987.
3. 하창욱, “피마자유의 디젤기관 연료로서의 이용 가능성에 관한 연구”, 석사학위논문, 경상대학교, 1984.
4. 오영택, “디젤기관의 대체연료로서의 식물유”, 자동차공학회지, vol. 18, no. 2, 1996.
5. 류정인 외, “초음파 연료공급장치용 디젤자동차의 성능 향상에 관한 연구”, 한국자동차학회논문집, 제2권 제1호, pp. 1~8, 1994.
6. 조성철 외, “디젤자동차의 저공해형 연료공급장치 개발”, 한국액체미립학회지, 제2권 제3호, pp. 8~16, 1997.
7. 최두석, “초음파에너지부가 디젤유의 분무특성과 기관특성에 관한 연구”, 충남대학교, 박사학위논문, 1996.
8. J. V. Droughton, “The effect of ultrasonic mixing of fuel and air on the performance of an internal combustion engine”, SAE 840238, 1984.
9. 島川正憲, “超音波工學”, 第一印刷.
10. L. L. Faulkner, “Ultrasonics”, 2nd Ed., pp. 18~19.
11. 이재성, “초음파 진동관을 이용한 가솔린 인젝터의 분무특성에 관한 연구”, 석사학위논문, 충남대학교, 1998.
12. B. E. Holting, “Cavitation produced by ultrasonics”, Proc. Phys. soc., 64B, pp. 1245~1279, 1978.
13. 千葉近, “超音波 噴霧”, pp. 6~7, 1990.

14. 田端道彦, “ディーゼル噴射の粒徑におよぼす燃料の動粘度と表面張力の影響”, 第12回 液體の微粒化に関する講演會, 講演論文集.
15. 정명진, “초음파진동을 이용한 디젤기관의 성능에 관한 연구 자동차공학 회지”, 제3권 6호, pp. 65~ 71, 1991.
16. 신현동, “초음파에너지를 가한 C.I. Engine의 성능특성에 관한 연구”, 석사 학위논문, 충남대학교, 1992.
17. 장병주, “내연기관공학”, 학문사, 1990.



감사의 글

본 논문이 완성되기까지 정성을 다하여 지도하여 주시고 이끌어 주신 권기린 교수님께 진심으로 감사를 드립니다. 그리고 바쁘신 와중에도 논문심사를 통하여 세심히 지도해 주신 김귀식 교수님과 허종철 교수님께 깊은 감사를 드리고, 지금까지 많은 가르침을 주신 현명택 교수님, 정동원 교수님께 감사를 드립니다. 본 연구를 수행하는 동안 많은 관심과 도움을 주신 이동원, 강남훈, 김석우 등 여러 선배님, 후배님 그리고 대학원생 동료들께 감사를 드립니다. 그리고 과중한 업무속에서도 아낌없는 배려와 격려를 해주신 행정실 직원 여러분들에게 감사드립니다.

끝으로 어려운 여건속에서도 늘 저에게 큰힘을 주신 어머니와 형님, 누님, 그리고 온갖 허물을 덮어 주시고 물심양면으로 도와주신 장인, 장모님께 감사드립니다. 이 논문이 있기까지 보이지 않는 힘이 되었던 아내와 사랑스런 딸 다예, 다은에게 이 작은 결실을 나누고 싶습니다.

2001. 12.