

碩士學位論文

초음파 진동을 이용한 물-경유 에멀전유  
생성과 디젤기관 성능에 관한 실험적 연구

濟州大學校 大學院



제주대학교 중앙도서관  
機械工學科  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

姜 男 勳

2001年 12月

초음파 진동을 이용한 물-경유 에멀전유  
생성과 디젤기관 성능에 관한 실험적 연구

指導教授 權 麒 麟

姜 男 勳

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함



2001年 12月

제주대학교 중앙도서관  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

姜男勳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 Performance of Diesel Engine  
using Water-Diesel Fuel Emulsified Fuel by  
Ultrasonic Vibration Energy

Nam-Hun Kang

(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 Figures .....	iv
List of Tables .....	v
List of Photographs .....	v
SUMMARY .....	vi
<b>I. 서 론</b> .....	<b>1</b>
<b>II. 이론적 고찰</b> .....	<b>3</b>
2-1. 초음파의 성질 .....	3
2-1-1 지향성 .....	3
2-1-2 공동현상 .....	4
2-1-3 공진 .....	5
2-1-4 방사압 .....	5
2-2. 초음파 발생 장치 .....	6
2-2-1 초음파 발진기 .....	6
1) 초음파 발진기 설계시 고려사항 .....	6
2) 초음파 발진기 구성 .....	7
2-2-2 초음파 진동자 .....	9
2-2-3 진동자 혼 .....	12
2-3. 에멀전 연료 .....	14

<b>III. 실험장치 및 방법과 시험연료</b> .....	16
3-1. 초음파 발생장치 .....	16
3-2. 기관성능 시험장치 .....	18
3-2-1 기관 .....	19
3-2-2 동력계 및 컨트롤러 .....	21
3-3. 실험방법 .....	23
3-4. 물-경유 초음파 에너지 부가 에멀전 연료생성 .....	25
<b>IV. 실험 결과 및 고찰</b> .....	27
1) 토크 .....	28
2) 연료소비량 .....	28
3) 제동마력 .....	28
4) 정미 연료 소비율 .....	29
5) 정미 열효율 .....	29
6) 배출가스 .....	30
<b>V. 결론</b> .....	37
<b>VI. 참고문헌</b> .....	38



## Nomenclature

BLT	:	Bolted Langevin type transducer
$B_e$	:	Specific fuel consumption( $\text{g/ps} \cdot \text{h}$ )
C	:	Velocity of ultrasonic( $\text{m/s}$ )
DF	:	Diesel fuel
e	:	Density of energy( $\text{N/m}^2$ )
F	:	Fuel consumption per hour( $\ell/\text{h}$ )
f	:	Frequency of sound(Hz)
$H_\ell$	:	Lower heating value( $\text{cal/g}$ )
n	:	RPM
$N_b$	:	Brake horse power(ps)
P	:	Acoustic radiation pressure( $\text{N/m}^2$ )
R	:	Reflectivity of plate
S	:	Specific gravity( $\text{g/cm}^3$ )
T	:	Cycle
t	:	Fuel consumption time(sec)
UDF	:	Ultrasonic energy adding diesel fuel
UEF	:	Ultrasonic energy adding emulsified fuel
V	:	Fuel consumption ( $\text{m}\ell$ )
W	:	Torque( $\text{kg} \cdot \text{m}$ )
$\gamma$	:	$C_p/C_v$ magnetiogytic ratio
$\eta_e$	:	Brake thermal efficiency (%)
$\lambda$	:	Wave length(mm)
$\rho$	:	Density( $\text{kg/m}^3$ )

## List of Figures

- Fig. 1 Block diagram of ultrasonic oscillator
- Fig. 2 Inner bolted Langevin transducer
- Fig. 3 Horn
- Fig. 4 Schematic diagram of UEF feed system
- Fig. 5 Schematic diagram of the ultrasonic fuel feed system
- Fig. 6 Schematic diagram of experimental apparatus
- Fig. 7 Process experiment
- Fig. 8 Relationship between torque and engine speed for DF, UDF and UEF
- Fig. 9 Relationship between fuel consumption and engine speed for DF, UDF and UEF
- Fig. 10 Relationship between brake horse power and engine speed for DF, UDF and UEF
- Fig. 11 Variation of specific fuel consumption of test engine with the engine speed for DF, UDF and UEF
- Fig. 12 Variation of specific fuel consumption of test engine with the engine speed for DF, UDF and UEF
- Fig. 13 Comparison exhaust fumes for DF and UEF

## List of Tables

Table 1 Specification of bolted Langevin type transducer (BLT)

Table 2 Specification of engine

Table 3 Specification of eddy current dynamometer

Table 4 Specific gravity & Lower heating value of DF and UEF

## List of Photographs

Photo. 1 Eddy current dynamometer

Photo. 2 Control box

Photo. 3 Cavitation

Photo. 4 UEF





## SUMMARY

This study was undertaken to investigate the engine output, the ratio of fuel consumption and its efficiency, and the emission concentration of exhaust gas such as CO, NO<sub>x</sub> and smoke of Diesel Fuel(DF), Ultrasonic Energy Adding Diesel Fuel(UDF) and Ultrasonic Energy Adding Emulsified Fuel(UEF) according to the variation of the speed of engine revolution through engine performance test device under the circumstances of electrical load(4/4) and 80°C.

The results obtained are as follows:

1. In the case of UDF, as a result of fuel atomization, combustion efficiency became good and accordingly fuel consumption rate decreased by 2~2.6%, brake horsepower increased by 1.32% maximum. According to decrease in fuel consumption rate and increase in brake horsepower, specific fuel consumption rate was improved by 1.8~3.5%, and specific thermal efficiency was improved by 2~2.6%.
2. When using UEF, torque and brake horsepower decreased by 0.4~1.35%, 0.41~1.34%, fuel consumption rate increased by 3.15~4.05%. In spite of the increase in brake horsepower and fuel consumption rate, owing to the small caloric value of emulsified fuel, brake thermal efficiency was improved by 6.1~7.3% .

3. Since UEF includes water, NO<sub>x</sub> decreased by 5%, which was resulted from the fact that emulsified fuel absorbed the heat of in-cylinder water in the process of combustion and made the temperature fall down.

4. In spite of the defects of fuel spray, there was a decrease of 15.2% in the concentration of exhaust gas, which was made by the supplement to combustion and the negative effect on injection characteristics in the process of combustion.



# I. 서론

디젤 기관은 가솔린 기관에 비해 저급의 연료를 쓰고, 열효율이 25 ~ 35%로 높아 경제적 이점이 있다. 또한 낮은 오염물질형성으로 자동차용 엔진 동력원으로 사용빈도가 높아지고 있다. 그러나 전 세계적으로 자동차 연료로 사용되는 석유의 가격상승과 그 유한성이 거론되고, 자동차 배기가스로 인한 대도시 지역의 광화학스모그 증가와 오존층 파괴로 인한 자외선의 증가로 탄화수소 연료계에 대한 환경오염 문제가 부각되고 있다. 특히 1992년 Rio 선언 이후 대기 오염 규제가 더욱 엄격해진 가운데, 디젤기관은 가솔린기관에 비하여 CO, HC의 배출 농도는 낮으나, NO<sub>x</sub>의 배출이 문제가 되고 있는 한편, 배출가스 중의 매연 농도가 큰 것이 단점으로 지적되고 있다[1].

석유계 연료의 유한성에 따른 대체 연료 및 저공해 연료를 개발하기 위한 연구가 진행되어 저질유[2], 알콜 등 저 세탄가 연료와의 혼합[3], 알콜 퓨미게이션 법[4], 식물유[5][6], 동·식물유 혼합연료[5][6], EM 연료, 흡기관내 수분사, 유화제를 이용한 경유-물의 에멀전 연료[7][8][9]등을 사용하는 방식이 보고되고 있다.

에멀전 연료는 연소실에 분사될 때 기름 입자 중에 위치한 물 입자가 고열에 의해 급격한 증발현상(micro explosion)을 일으켜 기름 입자를 더욱 더 잘게 분산시켜 기름의 공기와의 접촉면을 크게 증가시킴으로써 연소효율이 높다[7]. 또한 배출 가스 중 NO<sub>x</sub> 및 매연의 농도가 동시에 저감되므로 대단히 유용한 것으로 보고되었으며, 이에 에멀전 연료의 특성을 확인하고자 한다.

하지만 에멀전 연료는 경유에 비해 점도가 높아 분사시 액적이 크며, 발열량이 없는 물을 포함하고 있어, 세탄가와 단위 질량당 발열량이 낮다. 저 세

탄가로 인하여 착화 지연 시간이 길어져 노킹 우려가 있으며, 발열량 저하로 인하여 출력이 낮아져 운전성능 저하를 가져올 수 있다[8].

이에 유화연료 생성을 위해 유화제를 사용하지 않고, 초음파 에너지를 이용하였다. 액체 중에 강력한 초음파를 조사하면, 액체를 분자상으로 분해 및 재결합시키는 공동현상(Cavitation)이 발생한다[10]. 또한 액체 내에 발생한 공동현상 기포가 액면에 전달되어 과열하면서 미립 분산시킨다[11][12]. 이러한 초음파 효과[13][14][15][16]를 이용하여 물-경유 혼합 에멀전 연료를 생성하였다.


본 논문에서는 초음파 효과 및 물-경유 에멀전 연료의 특성을 살펴보기 위하여, 경유(DF), 초음파 에너지 부가 경유(Ultrasonic Energy Adding Diesel Fuel : UDF)와 초음파 에너지 부가 에멀전 연료(Ultrasonic Energy Adding Emulsified Fuel : UEF) 3종의 연료를 사용하여 실 디젤엔진에서 회전속도 (1400~2400rpm)변화에 따른 계동마력, 연료소비율, 열효율 및 배출 가스에 미치는 영향에 관하여 실험하였다.

## Ⅱ. 이론적 고찰

### 2-1. 초음파(Ultrasonic wave)의 성질

초음파는 인간의 청각기관에서 포착할 수 없는 주파수 크기가 15kHz 이상인 음파를 말한다. 초음파의 음속은 아래와 같다.

$$C = \lambda f \quad (1)$$

액체 매질을 통과할 때의 음파의 속도는  중앙도서관  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

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

가 된다.

#### 2-1-1. 지향성(Directivity)

주파수가 크고 높은 음은 진동면의 정면 방향으로 집중하여 방사되고, 주파수가 작고 낮은 음은 정면 방향뿐만 아니라 횡 방향으로도 널리 방사된다. 이와 같이 음이 전 방향으로 같은 형태로 방사되는 것이 아니라 일정 방향으로 강하게 방사되는 성질을 음의 지향성이라 한다.

## 2-1-2. 공동현상

공동현상은 액체 중에 용존하고 있는 공기나 다른 가스가 액체에 가해진 팽창력 또는 감압력에 의해서 팽창하여 큰 부압을 일으켜 공동 부분 또는 공동을 일으키는 현상[16]이다.

초음파 공동현상은 매질 입자에 매우 큰 가속도를 주는 것이 가능하므로 초음파에 의한 액중에 용존하고 있는 공기 분자 및 매질 기체의 집합, 성장 및 압괴까지 일어나게 할 수 있다.

액체는 그의 종류, 온도 및 압력에 따라 기체를 용존하며 실제의 공동현상은 공동 또는 기포가 원자나 분자의 크기에 비례하여 성장하게된다. 기포가 성장을 시작하는 최소의 종자를 기포핵(Cavitation nuclear)이라 부르며 기포핵은 액중에 용해하여 존재하는 기포 입자이다.

초음파에 의해 매질이 팽창과 압축을 반복하고 소멸파가 생기며 음압의 증감이 일어난다. 부압에 따라서 액체는 끌어당겨지고 액체 중의 기포 핵이나 액 중 공기 입자가 집합이나 성장하여 공동을 발생한다. 기포는 더욱 발달하여 최대로 되고, 이후 점차로 기포는 압축되어 공동 소멸 또는 공동 그대로 남아 있다가 더욱 단열 압축되어 고온 고압 미소 기포로 된 후 기포가 파괴되면서 원래와 같이 분자상으로 쪼개어 흩어진다. 이 파괴하는 순간에 매우 큰 순간 압력의 충격파가 발생하여 액체내에 격렬한 잡음이 발생하며 액체가 충돌하여 합쳐지고 파괴되고 다시 합쳐지면서 방사압이나 직진류도 가해져 액면이 발달하여 솟아오르며 그로부터 유괴도 생기면서 주파수 고유의 가분분무가 발생한다.

이런 과정의 실험을 통하여 액립의 크기는 주파수에 좌우되고 주파수가 높은 만큼 발생 기포의 크기도 작고, 입자 크기가 작게 되는 것이 밝혀졌다[17].

### 2-1-3. 공진(Resonance)

어떤 물체를 자유로이 진동시킨 때의 주파수와 같은 주파수로 외부에서 힘을 가해주면 작은 힘으로 큰 진동을 얻을 수 있는데, 이때를 공진이라 한다.

초음파의 경우에는 하나의 주파수만 발생하면 되는 경우가 많고, 또 공진을 이용하지 않으면 효율이 나빠지게 되므로 전기적 진동을 기계적 진동으로 변환하기 위한 진동자(Transducer)는 물론, 다른 부분도 가급적 공진을 이용해야 한다.

### 2-1-4. 방사압(Acoustic radiation pressure)

연속적인 매질중에 음이 전파할 때 매질입자가 평형위치에서 양방향으로 진동하여도 그 평형위치는 변하지 않으나 음파는 매질중을 이동한다. 음파의 강도가 어떤 임계값을 넘어서면 매질입자가 강한 초음파 진동과 동시에 매질 자체도 이동하게 된다. 이러한 현상을 방사압이라 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 이용되며, 파장에 비해 매우 큰 판을 초음파의 입사 방향과 직각으로 설치해 두면, 입사파의 에너지 밀도  $e(N/m^2)$ 와 함께 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$P = e(1 + R) \quad (3)$$

이 식에서 음을 완전히 흡수하는 판에서는  $P = e$ 가 되며, 완전히 반사하는 판에서는  $P = 2e$ 가 된다.

## 2-2. 초음파 발생 장치

### 2-2-1 초음파 발진 장치(Ultrasonic generator)

#### 1) 초음파 발진기 설계시 고려 사항

초음파 발진장치는 진동자에 전기적 신호를 가하여 요구되는 출력의 초음파를 얻는 장치로서 설계시 다음과 같은 사항이 고려되어야 한다.

##### ① 부하 변동에의 대응

초음파 발진기는 진동자의 파손이 발생하지 않도록 부하에 따라 출력이 가변 되어야 한다. 즉, 진동자의 파손을 일으키는 가장 큰 요인은 부하시 발열에 의한 것과 무부하시 과진동에 의한 것이다.

부하시의 발열에 의한 파손은 유전손실과 내부의 기계손실에 의한 온도상승으로 응력이 증가하여 진동자의 파손을 일으키는 경우가 있다. 또, 무부하시에는 진동자 자체만의 기계적 저항에 의한 손실로 과도한 진동이 발생하여 진동자의 약한 부분이 파손될 수 있다.

그러므로 초음파 발진기는 부하의 변화에 관계없이 진동자의 진폭에 비례하는 값을 받아 일정한 진폭을 유지하도록 출력 전력을 제어하는 기능을 가져야 한다.

##### ② 출력 정합 회로

초음파 발진기는 출력 정합 회로 설계에서 부하 즉, 진동자의 Quality factor가 높기 때문에 그 공진 주파수 부근에서 임피던스가 크게 변화하게 되는데, 공진회로의 공진 주파수와 진동자의 공진 주파수가 일치하지 않으면 진



동자에 가해지는 전력과 진동자의 초음파 출력이 크게 감소하므로 임피던스의 변화에도 두 공진 주파수는 항상 일치하도록 해야 한다.

## 2) 초음파 발진기 구성

초음파 진동자에 전기 신호를 가하여 요구하는 출력의 초음파를 내기 위한 장치인 초음파 발진 장치는 28.5kHz 주파수를 발진해 주는 발진부, 발진된 주파수로 진동자를 구동시킬 수 있는 전력으로 증폭해 주는 증폭부, 증폭된 구형파를 사인파로 바꾸어 임피던스를 정합하여 진동자에 가해 주는 정합부로 구성되어 있으며, 그 개략도는 Fig. 1과 같다.

### ① 발진부(Oscillation Part)

발진부에서는 28.5kHz를 발진함과 동시에 무부하일 때 부하의 변동에 관계 없이 초음파의 진동 진폭이 항상 일정한 값을 유지하도록 정합부로부터 진폭에 비례하는 전압의 피드백을 받아 증폭부로 가해주는 기능을 가지고 있다.

발진 주파수는 진동자의 공진 주파수와 같도록, 피드백 되는 주파수에 따라 결정되도록 하여 진동자가 바뀌어 공진 주파수가 달라지더라도 자동적으로 공진 주파수와 맞춰지도록 되어있다. 출력전압은 피드백 전압에 반비례하도록 설계하여 초음파 진동자에 가해지는 부하의 변동에도 일정한 진폭을 얻을 수 있도록 되어있다.

Fig. 1에서 보는 바와 같이 정합부로부터 피드백되어 온 신호는 공진회로와 정류부에 가해진다. 공진회로는 피드백 신호에 의해 트리거되어 진동자의 공진 주파수를 발진하는 부분이다.

정류부에 가해진 피드백 신호는 신호의 세기에 비례하는 크기의 직류로 변환되어 공진회로 출력신호의 크기를 제어하는데, 피드백 신호의 크기가 클수록 출력신호의 크기는 작아진다.

② 증폭부 (Amplifier part)

Fig. 1에서 보는 바와 같이 증폭부는 발진부에서 발진된 28.5kHz의 주파수 신호를 진동자가 구동될 수 있는 전력으로 증폭시켜 주는 부분이다.

③ 정합부(Matching part)

진동자 및 LC회로로 이루어진 정합부는, 진동자의 공진주파수와 일치하는 직렬 공진 회로를 구성하여 진동자에 필요한 높은 전압을 발생시킴으로써 진동자를 가장 높은 효율로 작동하게 하는 부분이다. 또한 피드백 신호를 발진부에 가하여 연속적인 발진과 함께 부하의 변동에 따라 발진부의 출력을 변동시켜 부하가 걸리지 않았을 때 기계적 손실에 의해 발생하는 과진동에 의한 진동자의 파손을 방지한다.

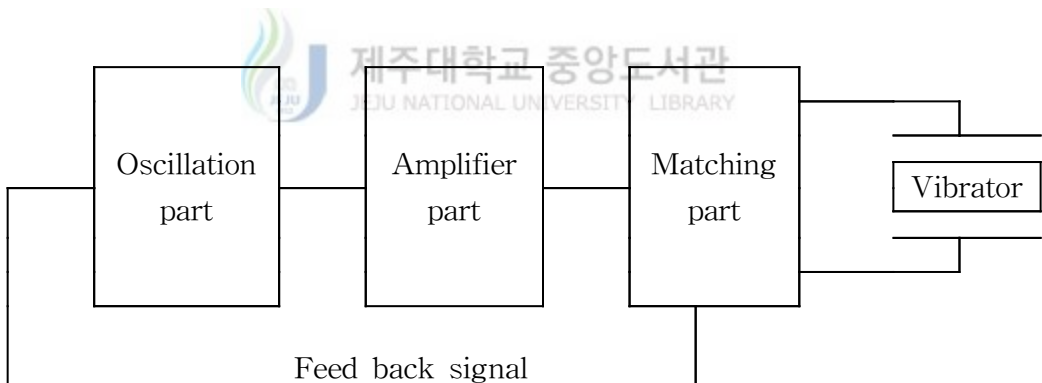


Fig. 1 Block diagram of ultrasonic oscillator

## 2-2-2. 초음파 진동자(Transducer)

초음파 발생방법은 매질이 기체, 액체, 고체인지의 여부에 따라서, 또 주파수에 따라서 여러 가지 방법이 있으나 크게 나누어 기계식 방법과 전기식 방법으로 대별할 수 있다.

기계식 사이레형 진동자는 주변에 가는 구멍이 있는 원판을 회전시켜 압축공기를 단속적으로 분출시킴으로써 초음파를 발생한다. 공동 진동형 발전자는 관의 노즐에 공기를 분출시켜 노즐의 전방에 있는 공동에 공기를 주기적으로 압축 분출하여 초음파를 발생시킨다.

전기식으로는 매질에 따라 또는 원하는 주파수에 따라 여러 종류의 진동자가 있으나 크게 압전형, 자왜형, 전왜형, 량계빈형 등으로 나눌 수 있다.

### 1) 압전 진동자(Piezoelectric Transducer)

천연적으로 얻을 수 있는 수정 또는, 인공적으로 만든 로셀염(Rochelle salt)이나 전기석 등의 결정에서는 힘을 가해 변형을 주면 힘의 방향 또는, 특정 방향을 가진 결정의 양 끝면에 전하가 흐른다. 반대로 결정의 양면에 전압을 가하면 판이 압축, 팽창하게 되는데 이러한 현상을 압전(Piezo)현상이라 하며 이러한 압전효과에 의해 결정체를 압축 또는 팽창을 반복하여 초음파가 발생된다.

### 2) 자왜 진동자(Magnetostrictive Transducer)

니켈(Ni), Alfer(Steel 30%, Al 13%의 합금) 및 페라이트(Ferrite)와 같이 강한 자성을 가진 물체를 봉형태로 하여 자장속에 설치하고 이것에 자계를 가하면 자계 방향으로 신축하게 되는데, 이러한 현상을 자왜(Magneto-striction)현상 또는, 주율효과라 한다.

이것의 원리는 강자성체의 내부에는 미세한 자석이 불규칙적인 배열로 분포하고 있으나 이것에 강한 자계를 가하면 미세한 자석이 자계 방향으로 정렬하여 자성을 띠게 된다는 것으로, 이때 한정된 길이의 자석이 정렬되면 강자성체가 늘어나거나 줄어들게 되는데 이 현상을 이용한 것이 자왜 진동자이다.

### 3) 전왜 진동자(Electrostrictive transducer)

티탄산 바륨계나 질리콘산 티탄연계의 자기는 강한 유전체이며, 내부에 정(+ )과 부(-)의 전하를 가진 쌍극자가 있다.

보통의 쌍극자는 불규칙하게 배열되어 있으나 강한 유전체를 강한 전기장 속에 넣으면, 쌍극자의 전기축은 S전기장의 방향에 의한 회전력으로 인해 방향을 정렬하게 된다. 유한한 길이의 쌍극자가 정렬할 때 유전체가 늘어나거나 줄어들게 되는데, 이러한 현상을 전왜 현상이라 한다.

일반적인 유전체에서는 전왜 현상이 미약하거나 거의 일어나지 않지만, 티탄산 바륨계 같은 유전체에서는 이 현상이 매우 크므로 전왜 진동자로 널리 사용된다.

### 4) 랑게빈 진동자(Langevin transducer)

Fig. 2에서 보는 바와 같이 볼트 체결형 랑게빈 진동자(BLT)는 두 개의 다른 금속판(탄성판)사이에 수정판을 모자이크 상으로 모아 접착 또는 볼트체결하여 저주파수의 강한 초음파를 얻을 수 있는 진동자이며, 볼트 죄임 방식으로 두 금속판의 열팽창계수가 달라도 떨어지는 일이 없다.

랑게빈 진동자의 특징은 다음과 같다.

1. 기계적 Quality factor(공진회로에서 공진의 날카로운 정도)가 높다.

2. 고온에서 사용할 수 있다(일반적인 것은 100℃까지, 고온용의 것은 160℃까지 거의 특성의 변화가 없다).
3. 냉각이 필요치 않다.
4. 대부분의 금속 블록으로 되어 있으므로 견고하고, 대진폭의 진동에도 파괴의 위험이 없다.
5. 진동자 전체로서 비교적 저주파수쪽에서도 대진폭의 초음파를 얻을 수 있어 이용범위가 넓다.
6. 임피던스와 가해지는 전압이 높다.

이와 같은 특징으로 실험에는 BLT를 사용하며 특성은 Table 1 과 같다.

Table 1 Specification of bolted Langevin type transducer (BLT)

Frequency (kHz)	Admittance (MΩ)	Thermal quality (Qm)	Capacity (pF)	Maximum velocity (cm/s)	Maximum amplitude (P-P)(μm)	Dia. & Thickness (mm)
28.5±0.4	35±7	1,000	3000±15%	60	9.6	Φ29.5, 5

#### 2-2-4. 진동자 혼

진동자 혼은 진동자 단면의 진폭을 확대하여 진동자의 기계적 에너지를 효과적으로 전달할 목적으로 사용하며, 본 실험에서는 혼 양단면의 면적비가 동일한 경우 진폭확대율이 가장 큰 스텝형으로 제작하였다.

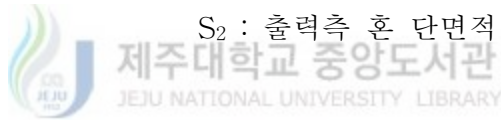
Fig. 3 의 스텝형 혼의 진폭확대율의 관계식은 다음과 같다.

$$M = S_1/S_2 \quad (4)$$

여기서 M : 진폭 확대율

$S_1$  : 입력측 혼 단면적

$S_2$  : 출력측 혼 단면적



혼의 단면부에서 손실이 최대가 되고 스텝부에서 진폭이 영이 되도록 하기 위하여 다음 식을 만족하도록 설계하였다.

$$L_1 = L_2 = \lambda/4 \quad (5)$$

여기서,  $\lambda$  : 파장( $\lambda=c/f$ )

$L_1$  : 입력측 혼 길이

$L_2$  : 출력측 혼 길이

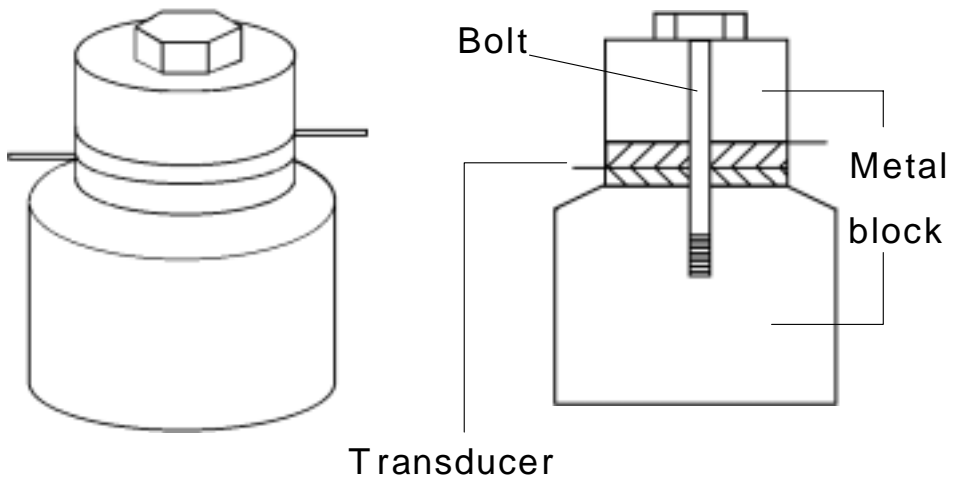


Fig. 2 Inner bolted Langevin transducer

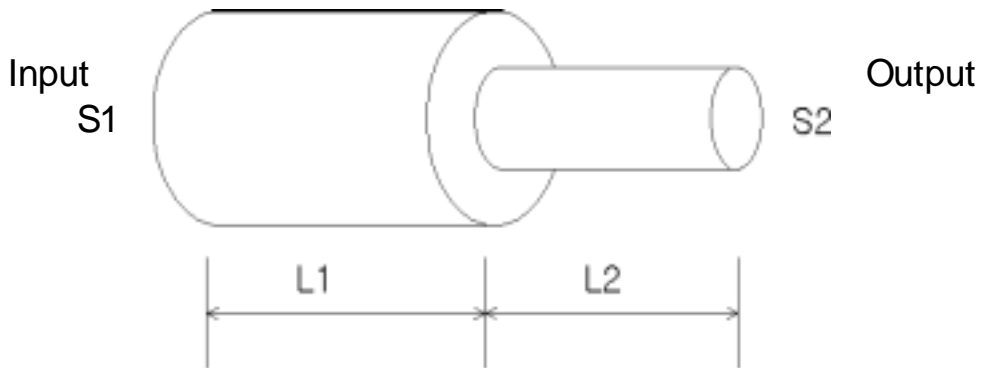


Fig. 3 Horn

### 2-3. 에멀전 연료

에멀전 연료가 연소실에 분사될 때, 기름입자 중에 위치한 물 입자가 고열에 의해 급격한 증발현상(Micro-explosion)을 일으켜 기름입자를 더욱 더 잘게 분산시켜 주는데 재 미립자화 된 기름입자는 연소용 공기와의 교반 효과로 접촉면적이 증대하고 증발, 가스화가 빨라져서 완전연소를 촉진한다.(물의 물리적 작용)

기름입자가 연소과정에서 탄소미립자와 물(H<sub>2</sub>O)과의 접촉으로 수성가스화 반응을 일으켜 미연소물의 완전연소를 이루어 미연소 카본을 발생시키지 않는다. (물의 화학적 작용)

물 첨가에 의해 화염 중에 일어나는 반응은 다음과 같이 3종류로 이루어진다.



제주대학교 중앙도서관  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



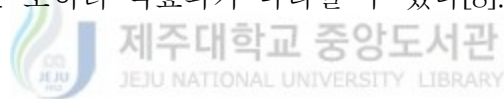
에멀전 연소의 화염상태는 가스연소에 가깝게 극히 안정된 상태로 연소하며, 화염온도 분포가 균일하여 국부적인 고온과열부분이 생기지 않고, 연소가스 중 탄산가스와 수증기 분압의 증가로 복사전열량이 증대된다.

또한 기름의 완전연소화에 의해 과잉공기의 소요가 줄어든다. 즉, 수성가스화 반응에 의해 연소가 아주 평탄하고 탄소입자들이 감소해 가스연소에 가깝



게 연소하므로 과잉의 산소는 불필요하여 연소용 공기를 이론치에 가깝게 감소시킬 수 있다.

하지만 에멀전 연료의 액적 크기가 디젤연료에 비하여 상대적으로 크기 때문에 연료가 공기와 접촉하는 면이 작아서 연소조건은 디젤연료에 비해 나쁘다고 볼 수 있다. 그러나 에멀전 연료는 특정영역의 부하에서 물 혼합물의 증가와 함께 NO<sub>x</sub>와 매연이 동시에 저감되며 열효율의 향상으로 연료소모율도 감소하게 된다. 발화시기 지연, 연소실 압력 상승에도 불구하고 NO<sub>x</sub>가 저감되는 것은 물 첨가에 의해 연소실내 열흡수와 불활성 가스로서의 수증기 역할에 의하여 연소실내의 온도 저감 동시에 미세폭발 및 공기 유동의 활성화에 의한 국부적 온도상승의 억제에 의한 것으로 알려져 있다. 일반적으로 물 첨가율은 엔진의 특성마다 다르지만 육상수송기관에서는 30%이하로 조정되며 그 이상에서는 오히려 역효과가 나타날 수 있다[8].



### Ⅲ. 실험장치 및 방법과 시험연료

#### 3-1. 초음파 발생장치

초음파 에너지 부가 에멀전 연료(UEF) 생성을 위한 초음파 발생장치의 개략도는 Fig. 4와 같고, 시험연료에 초음파 에너지를 부가하기 위한 초음파 발생장치의 개략도는 Fig. 5와 같다. 그림에서와 같이 초음파 발전장치와 진동자, 혼 및 반사판으로 구성된 구조로서 연료에 공동현상을 극대화시켜 최적의 미립화를 이룰 수 있도록 되어 있다. AC 100V 전원이 가해지면 초음파 발전장치는 28.5kHz의 주파수를 발전하고, 진동자를 구동하여 혼에서 진폭시키게 된다. 진동자는 28.5kHz의 진동특성을 갖는 볼트체결형 랑계빈 진동자를 택하였고, 혼은 28.5kHz의 주파수를 갖는 BLT의 기계적 에너지를 효과적으로 전달할 수 있고 진폭확대율이 가장 큰 형태의 혼인 Step형 혼을 사용하였다. Fig. 3에서와 같이 Step형 혼은 실린더의 길이 L1, L2가  $\lambda/4$  일 때 그 진폭도가 가장 크며, 단면적 비를 증가시킬수록 진폭도는 증가하나 응력 분포가 커짐으로 제작 구조상 단면비를 4 : 1, 직경비를 2 : 1로 하여 제작하였다.

UEF는 일정한 체적비(10%), 질량비(11.8%)율이 필요함에 따라서 Fig. 4와 같이 비이커에 일정비율의 물과 경유를 넣은후 초음파를 투과하여 에멀전 연료를 생성하였다. Fig. 5는 엔진 실험을 위하여 실험 연료에 초음파 에너지를 부가하는 장치로 엔진의 연료 펌프 직전에 설치하여 초음파 에너지가 부가된 UDF와 UEF를 생성하였다.

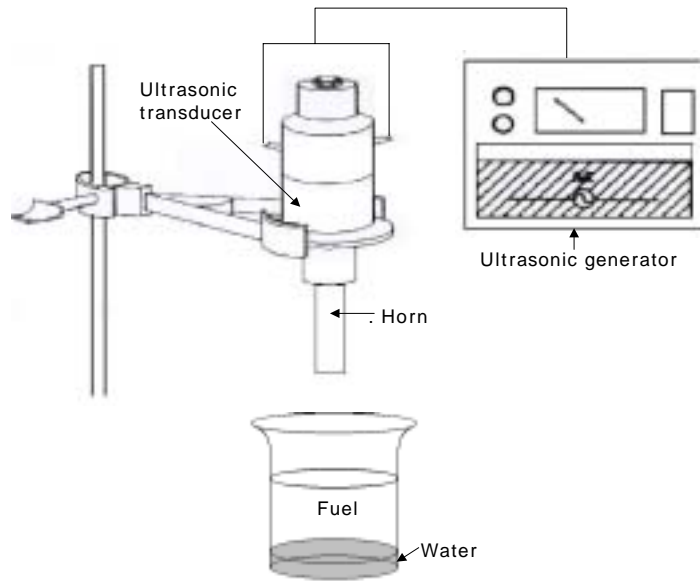


Fig. 4 Schematic diagram of UEF feed system

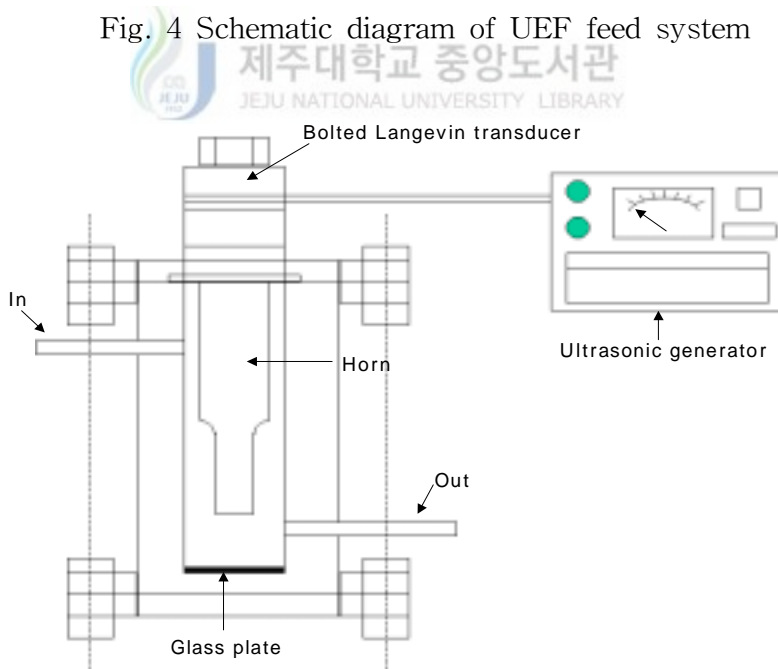


Fig. 5 Schematic diagram of the ultrasonic fuel feed system

### 3-2. 기관성능 시험장치

본 연구에 사용된 실험장치의 전체 구성은 Fig. 6과 같이 디젤기관, 동력계 및 컨트롤러, 연료 탱크와 유량계, 배기가스 측정기로 구성되어 있으며, 주요 부분을 요약해서 설명하면 다음과 같다.

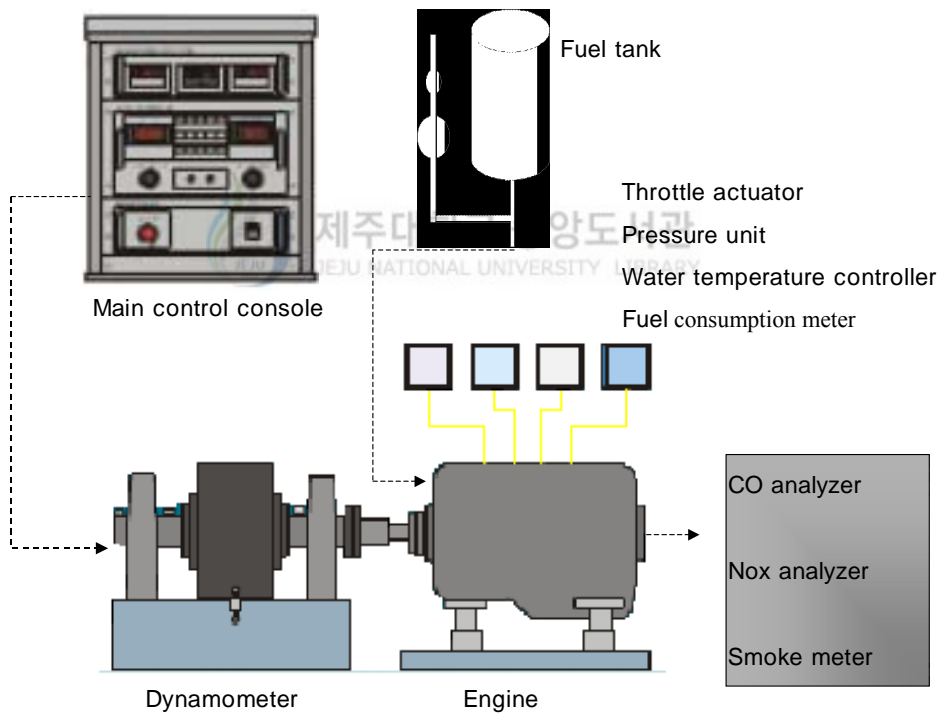


Fig. 6 Schematic diagram of experimental apparatus

### 3-2-1. 기관

본 실험에 사용한 디젤 기관은, 실린더 내경 91.1mm, 행정 95mm로서 행정 용적은 2,476cc이고, 압축비는 22:1이다. 이 기관의 최대토크는 16.2kg·m (2200rpm)이고, 최대출력은 80ps(4200rpm)으로 주요제원은 Table 2와 같다.

각 측정치의 신뢰도를 높이기 위하여 기관시동 후 기관회전수 및 부하가 안정되고 엔진 온도가 일정 상태로 유지될 때의 연료소비량, 부하토크, 시간을 측정하였다.

Table 2 Specification of experimental engine

Description		Specification	
Engine type		Water cooled, 4Cycle, 4Cylinder Diesel Engine	
Piston displacement (cc)		2,476	
Bore×Stroke (mm)		91.1×95	
Compression ratio		21:1	
Max. output (ps/rpm)		80/4,200	
Max. torque (kg·m/rpm)		16.2/2,200	
Valve timing	Intake	I.V.O	20°BTDC
		I.V.C	49°ABDC
	Exhaust	E.V.O	55°BBDC
		E.V.C	22°ATDC

각종의 측정치로부터 분석 항목별 계산 수식은 다음과 같다.

$$N_b = \frac{2\pi \times W \times n}{60 \times 75} \quad (9)$$

$$B_e = \frac{3600 \times S \times V}{t \times N_b} \quad (10)$$

$$\eta_e = \frac{632.5 \times 10^5}{B_e \times H_\ell} \quad (11)$$

여기서,

$N_b$  : 제동마력(PS)

$W$  : 토크(kg-m)

$n$  : 기관회전수(rpm)

$B_e$  : 연료소비율(g/psh)

$V$  : 연료소비량(ml)

$t$  : 연료소비량 측정시간(sec)

$\eta_e$  : 제동열효율(%)

$H_\ell$  : 저위발열량(cal/g)

$S$  : 연료 비중(g/cm<sup>3</sup>)

### 3-2-2. 기관성능시험장치

본 실험에서는 Photo. 1과 같이 동력계본체(Hwanwoong Mechatronics CO, LTD, DYTEK-130)와 Photo. 2와 같이 동력계를 제어하는 동력계 컨트롤러와 동력을 흡수하는 동력계 본체로 구성되어 있으며, 정회전속도제어, 정토크 제어, 급구배특성, 정전류특성 제어기능이 있다.

흡수 토크 검출은 Stran Gauge Type의 로트셀에 의해 검출된 전기적 신호를 컨트롤러 내부의 증폭기로 증폭하여 정확한 토크를 디지털 미터로 표시가 되며, 회전속도검출은 전자식 펄스 발생기에 의해 검출하여 컨트롤러 증폭기에 의해 디지털 미터로 표시된다.

동력계 수용마력은 180PS, 수용토크는 35kg·m, 수용회전속도는 9,000rpm이며, 컨트롤러의 측정 가능한 회전속도는 0~10,000rpm이고, 토크는 0~100kg·m이다. 주요사양은 Table 3과 같다.

Table 3 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 <sup>2</sup> more
Lubrication system	Grease lubrication
Dynamometer Weight	300Kg



Photo. 1 Eddy current dynamometer



Photo. 2 Control box



### 3-3. 실험방법

기관의 회전속도 및 부하는 전기 동력계를 이용하여 4/4부하 냉각수온도 80℃에서 DF, UDF, UEF(체적비 : 10%, 질량비 : 11.768%) 3종의 연료에 대하여 엔진의 회전수를 제어하는 방식인 정속도 모드로 회전수 1400 rpm에서 200rpm씩 증가하여 2400rpm까지 변화시켜 토크, 연료소비량(kg/h)을 측정하였고 4/4부하 냉각수온도 80℃ 2000rpm에서 CO, NO<sub>x</sub> 및 매연의 농도를 측정하였다.

냉각수 온도는 유량계의 유량 조절 밸브 및 온도센서를 사용하여 동력계 컨트롤러의 온도 제어 방식으로 80±2℃를 유지하였고 연료소비량 측정은 뷰렛을 이용하여 200ml 연료가 소비하는데 걸린 시간을 측정하였다.

측 토크와 측 출력은 동력계로 측정하였으며 배출 가스 중 CO와 NO<sub>x</sub>의 농도는 NO<sub>x</sub>분석기(KM9106)로 측정하였다. 그리고 매연의 농도는 스모그 메타(DS-330)로 측정하였다.

동력계 컨트롤러의 안정을 위해 메인 전원 작동한 후 10분간 유지시킨 다음 토크 표시계의 0점을 조절하였다. 또한 기관의 안정을 위하여 시동 후 무부하 상태에서 30분 공회전 후 실험 조건에 도달하도록 하였으며 이후 10분간 동일 조건으로 운전하여 각 항목별 데이터를 측정하였다.

각 연료에 대하여 실험은 5회 실시하여, 최고값과 최저값을 제외하여 평균값으로 구하였다. 실험의 방법은 Fig. 7과 같다.

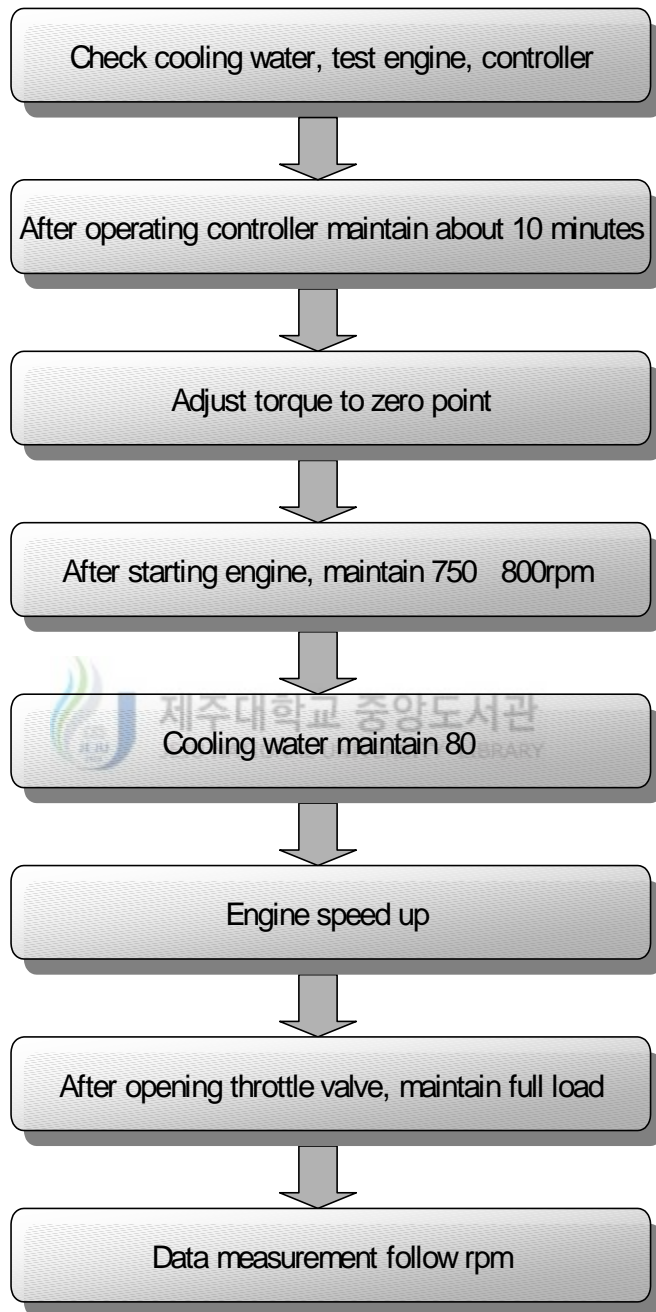


Fig. 7 Process of experiment

### 3-4. 물-경유 초음파 에너지 부가 에멀전 연료 생성

초음파 발생장치를 통해 방출되는 초음파를 이용하여 UEF를 생성하기 위해 경유에 물(체적비 : 10%, 질량비 : 11.768%)을 혼합하여 초음파 에너지를 부가하였다. 혼합유는 공동현상으로 초음파 투과 직후 수초내 혼합이 진행되어 유백색의 에멀전 상태로 되었고, 에멀전 연료의 안정성을 위해 15분간 초음파 에너지를 부가하였다. Photo. 3 과 4는 진동자 끝단 중앙부에서 불꽃 모양의 공동현상이 발생하는 모습과 물 10%의 에멀전 연료가 생성되는 모습을 보여주고 있다.

에멀전 연료의 물리적 특성은 Table 4와 같다. 물의 밀도와 비중 계산식에 의해 온도에 따른 물의 밀도와 비중을 구하였고, 이를 토대로 하여 20℃ 물(체적비 : 10%, 질량비 : 11.768%)의 에멀전유의 비중과 발열량을 구하였다.

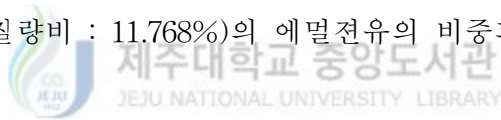


Table 4. Specific gravity and lower heating value of DF and UEF

	DF	UEF
Specific gravity (20℃)	0.835	0.868
Lower heating value(kcal/kg)	10,600	9,540

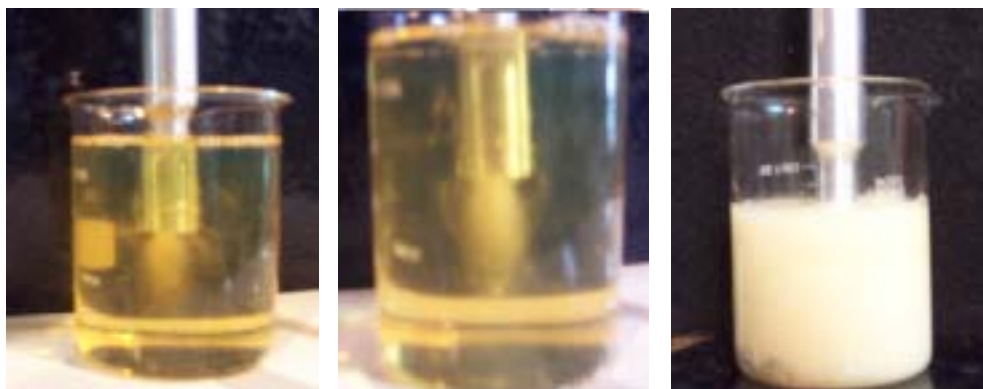


Photo. 3 Cavitation ultrasonic oscillator

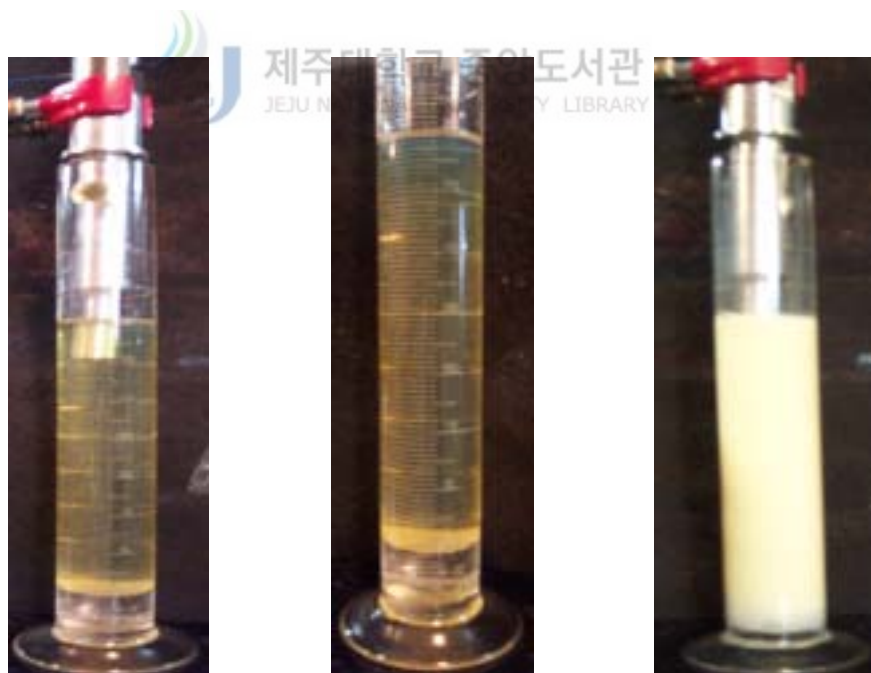


Photo. 4 Ultrasonic Energy Adding Emulsified Fuel

## IV. 실험결과 및 고찰

에멀전 연료는 디젤연료에 비해 연료가 가지고 있는 화학적 특성 때문에 디젤기관에 사용시에는 여러 가지로 불리한 결과를 야기시킬 수 있다. 첫째, 세탄가가 낮아서 점화지연시간이 커지므로 노킹이 발생할 수 있다. 그러므로 연소촉진제와 같은 세탄가 향상제를 첨가제로 쓰거나 연료분사시점을 앞당기는 방법을 사용하여야 한다. 둘째, 연료에 물을 첨가함으로써 연료의 단위 질량당 발열량이 디젤연료에 비하여 작으므로 엔진의 출력이 감소하게 되어 운전 성능을 저하시킬 수 있다. 이 점은 에멀전연료의 특성상 부득이 하므로 연료 분사량은 늘리는 방법에 의하여 극복될 수 있으므로 연료펌프의 개조를 필요로 하게 된다.

하지만 에멀전 연료는 이러한 불리한 분사 특성에도 불구하고 미세폭발이 발생하여 액체연료의 기화를 촉진시켜 효율적인 연소진행을 도와주고, 기관내의 연소온도를 낮추어 유해배출물의 농도가 저하된다. 또한 액체 미립화에 탁월한 효과를 가지고 있는 초음파를 이용하여 에멀전 연료를 생성함으로써 분무시 초음파 효과(미립화연료의 점도 및 표면장력의 변화)로 인하여 분무 액적의 크기를 상당히 낮추었다고 본다.

Fig. 8~12는 4/4부하 냉각수온도 80°C일 때 엔진속도에 따른 특성으로 (a)는 DF, UDF, UEF 연료의 토크, 연료소비량, 제동마력, 정미연료소비율, 정미열효율을 나타내었으며, (b)는 DF를 기준으로 하였을 때 UDF와 UEF에 대한 각 항목의 비를 제시한 것이다. 또한 Fig. 13은 4/4부하 냉각수온도 80°C 2000rpm에서 DF와 UEF의 배출가스를 실험적으로 구한 결과 다음과 같다.

### 1) 토크

Fig. 8과 같이 실험 연료 모두 2000rpm까지는 토크값이 증가하다 이후 감소하는 모습을 보여주고 있다. 초음파 에너지 부가 경유는 분무 액적의 미립화에 의하여 연소가 촉진되어 경유에 비하여 토크 값이 향상되었다. 1400rpm에서의 토크 증가가 가장 크게 나타났고, 이후 그 차이가 점점 줄어들어 2400rpm이상에서는 초음파 효과가 거의 소멸한 것으로 보인다. 초음파 에너지 부가 예멸전 연료는 연료에 물을 첨가함으로써 연료의 단위 질량당 발열량이 경유에 비하여 낮고, 세탄가가 낮아서 착화 지연으로 인하여 경유에 비하여 토크값이 적으며, 고속 회전으로 갈수록 그 차이는 점점 더 커지고 있다.

### 2) 연료소비량

연료소비량은 Fig. 9와 같이 기관 회전수가 증가함에 따라 비례적으로 증가하는 모습을 보이고 있다. UDF인 경우, 초음파 효과에 의하여 연소시 연료 소비량이 줄어드는 것을 볼 수 있다. 하지만 2400rpm 이상부터는 초음파 효과가 소멸되어 경유와 비슷한 경향을 보이고 있다. UEF인 경우 연료의 비중, 점도의 증가와 저세탄가로 인하여 연료의 소비량이 전 영역에서 경유에 비하여 일정하게 증가하였고, 2000rpm에서 경유와 비교하여 연료소모량이 최고치를 보이고 있다. 이는 상용디젤엔진이 경유에 모든 압축비, 점화 시기등 연소 조건이 맞추어져 있어서 예멸전연료에 맞는 연소 조건 엔진이 필요할 것으로 사료된다.

### 3) 제동마력

제동마력인 경우 Fig. 10과 같이 경유에 비하여 UDF는 다소 향상되었고, UEF는 다소 감소하는 형상을 보이고 있다. 이는 실험용 연료의 토크량이 큰

차이를 보이지않는 관계로 제동마력에서는 더욱 차이가 줄어든다. 하지만 에멀전 연료인 경우 비중이 2000rpm이상에서는 연료소비량 증가와 토크의 감소로 인하여 제동마력이 차이가 점차 증가하고 있다.

제동마력은 UDF인 경우 경유에 비하여 1400rpm에서 1.32% 증가하였고, UEF는 0.41~1.34% 감소하였다.

#### 4) 정미 연료 소비율

정미연료소비율은 Fig. 11과 같이 실험연료 모두 1800rpm까지 감소하여 최저값을 가진 이후 급격한 상승을 보이고 있다. 실험연료 모두 제동마력에서는 큰 차이를 보이지 않는 반면에 연료소비량이 많은 차이로 인하여 정미연료소비율은 큰 차이를 보이고 있다. 특히 UEF인 경우 2000rpm이상부터는 제동마력이 차이를 보이면서 정미연료소비율 증가폭이 더욱 커지고 있다.

정미연료소비율은 UDF인 경우 경유에 비하여 1.8~3.5% 저감효과를 보이고 있으며, UEF는 경유에 비하여 3.15~4.05% 증가하였다.

#### 5) 정미열효율

정미열효율은 Fig. 12와 같이 DF에 비하여 UEF가 최대 7.3% 증가하였고, UDF는 최대 2.6% 증가하였다. 여기서 UEF 정미열효율이 크게 증가하였는데, 이는 연료의 단위 질량당 발열량이 낮은 반면, 출력과 연료 소비율이 큰 차이를 보이지 않아서이다. 또한 에멀전유가 가지고 있는 불리한 화학적 특성이 초음파 효과에 의하여 극복된 것으로 사료된다. 출력과 연료소비율이 경유와 큰 차이를 보이지 않은 이유는 다음과 같이 추론할 수 있다.

- 1) 에멀전 중의 물 입자의 급속한 체적팽창, 즉 미세폭발에 의한 분무유적의 미세화
- 2) 분무의 관통력 증가에 의한 분무내의 공기 도입효과

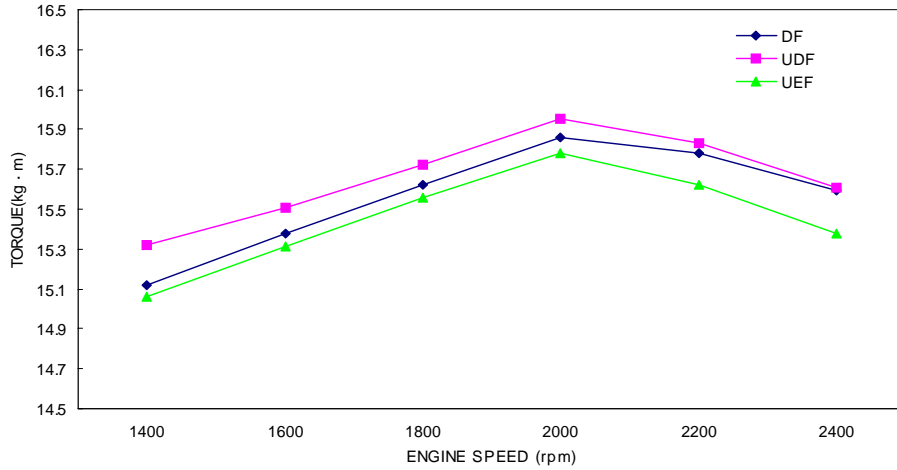
- 3) 물 함유로 인한 분무내의 국소 공기과잉률의 증대
- 4) 착화지연기간 증대로 인한 예혼합 연소량의 증가
- 5) 연소온도의 저하 및 휘염의 감소로 인한 냉각손실의 저감
- 6) 연소온도 저하로 인한 열해리의 억제
- 7) 연료 중 물 입자가 증가되면 연소 가스의 전 물수가 증가되므로 ① 1)~4)의 효과에 의해 연소실내에 분사되는 연료와 공기의 혼합이 촉진되어 연소가 빠르게 진행되어 연소효율 및 등용도 증대와 더불어 ② 5)~7)의 효과로 인하여 연료소모량이 저감된다고 판단된다.

## 6) 배출가스

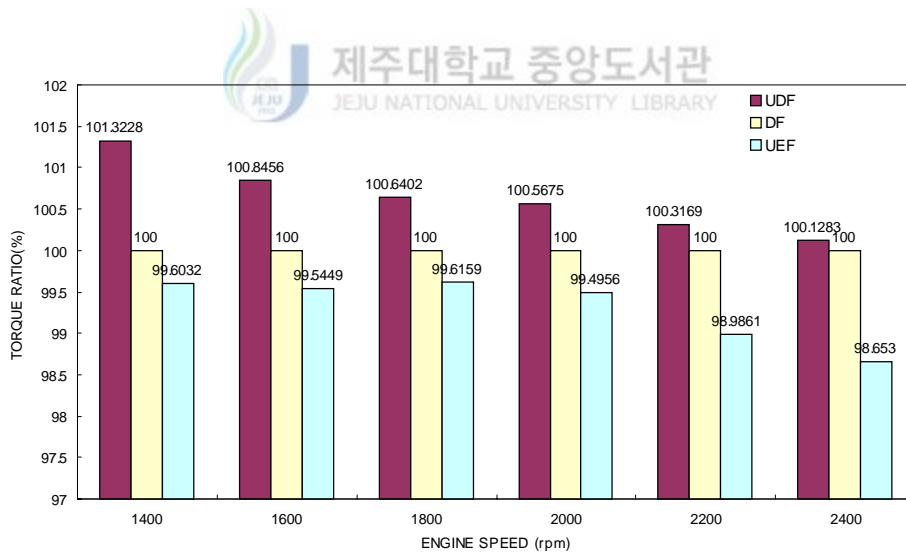
Fig. 13은 배출가스 중 CO, NO<sub>x</sub>, 매연농도를 비교한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 초음파 에너지 부가 예멸전 연료가 경유에 비하여 CO는 43% 증가하였나, NO<sub>x</sub> 와 매연의 농도는 각각 5%, 15.2% 감소하였다. NO<sub>x</sub>의 농도가 감소하는 이유는 앞에서 언급한 물이 연소실내 열을 흡수하여 연소실내 온도를 저감시키는 것을 알 수 있다.

매연의 농도가 저하되고 CO의 농도가 급격하게 증가하는 이유로 물이 탄소입자와 수성가스화 반응을 하여 매연의 농도를 상당부분 낮춘 것으로 사료된다. 예멸전 연료가 연료분무상의 단점에도 불구하고 연소시에 미세폭발에 의해 연소촉진효과와 초음파 에너지 부가에 의한 미립화에 기인한 것으로 분사특성의 부정적 효과가 연소시에 보완되고 있음을 알 수 있다.



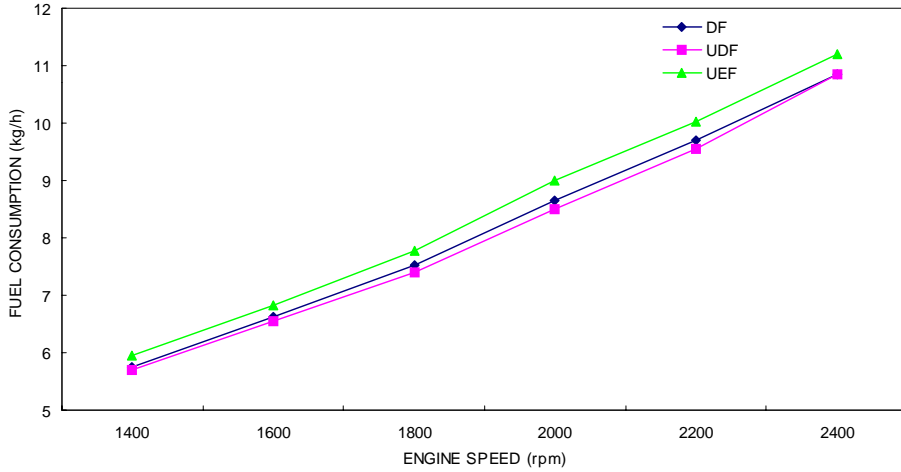


(a)

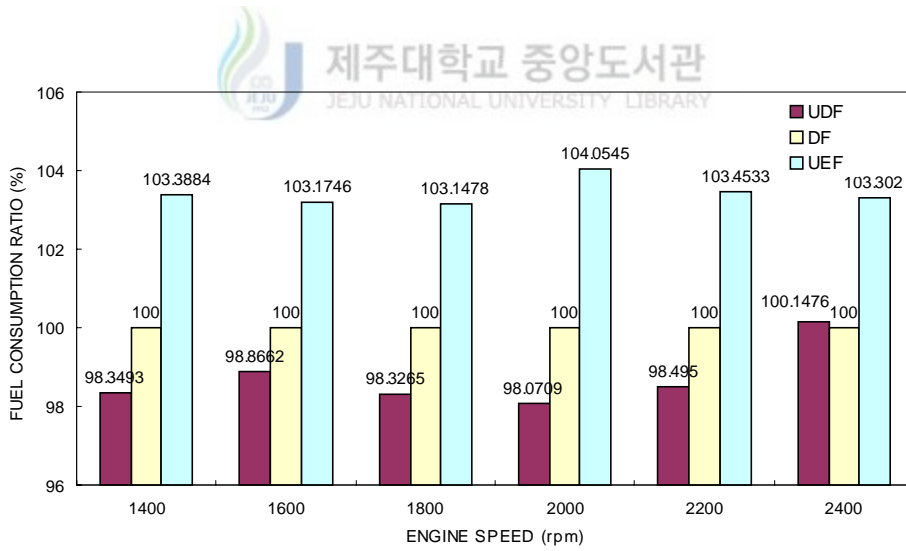


(b)

Fig. 8 Relationship between torque and engine speed for DF, UDF and UEF

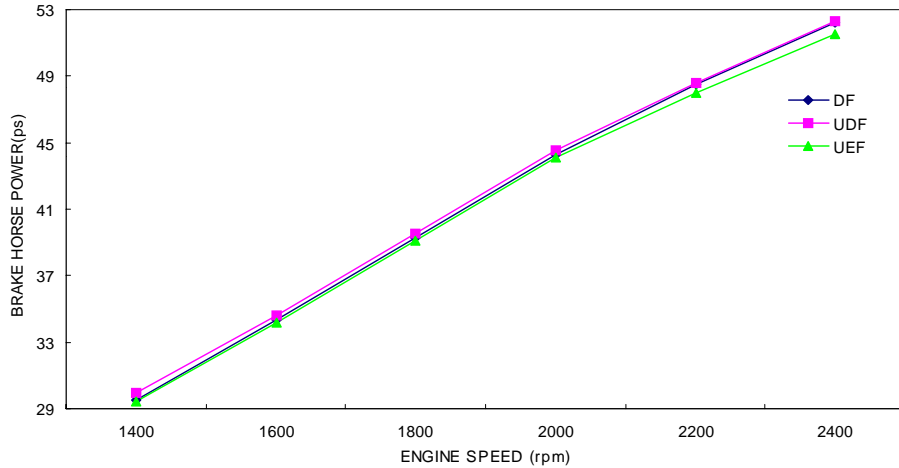


(a)

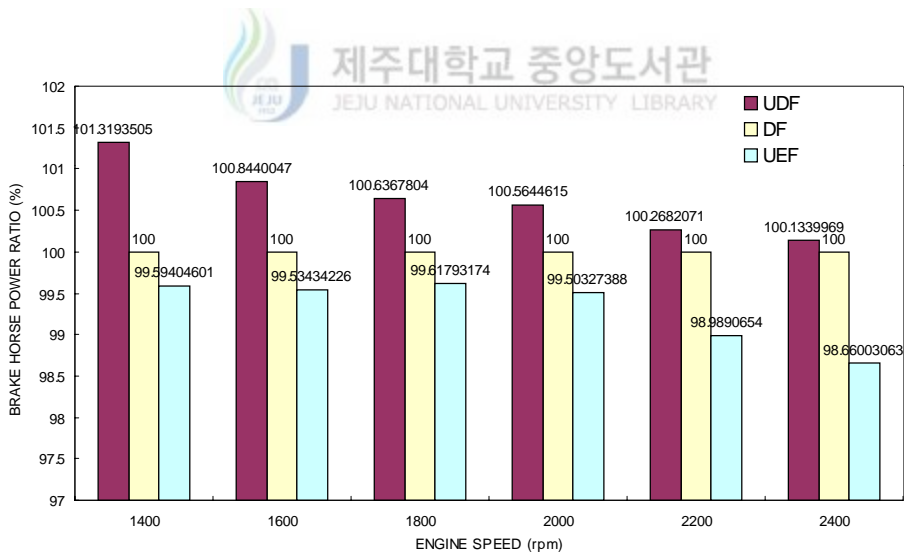


(b)

Fig. 9 Relationship between fuel consumption and engine speed for DF, UDF and UEF

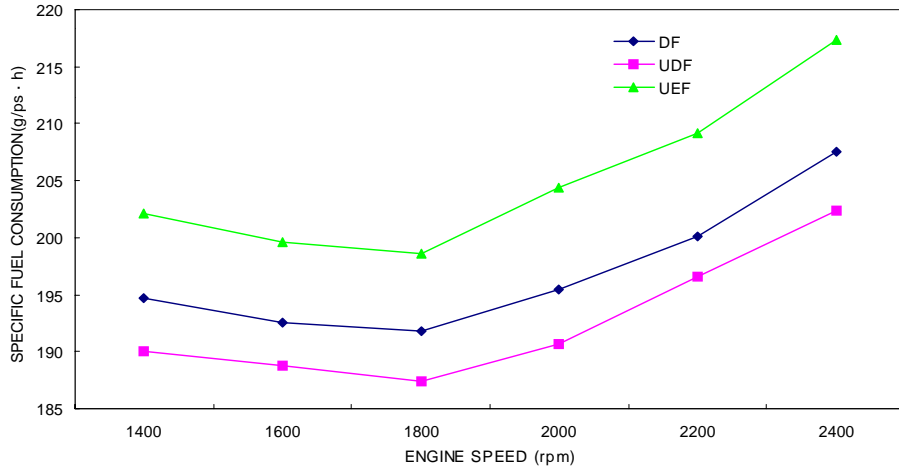


(a)

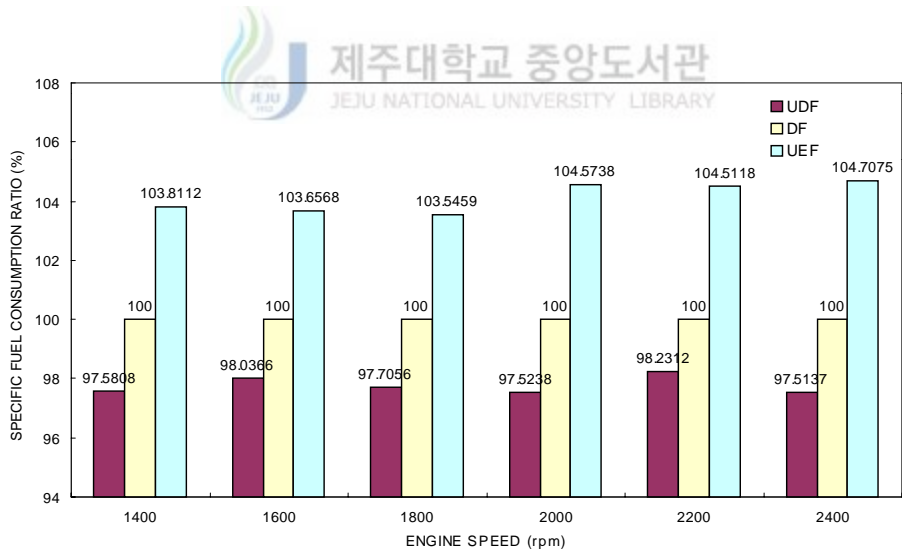


(b)

Fig. 10 Relationship between brake horse power and engine speed for DF, UDF and UEF

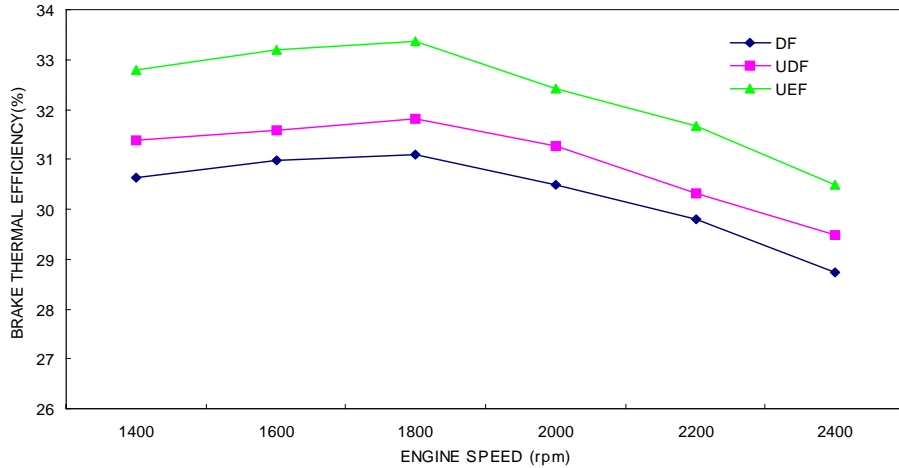


(a)

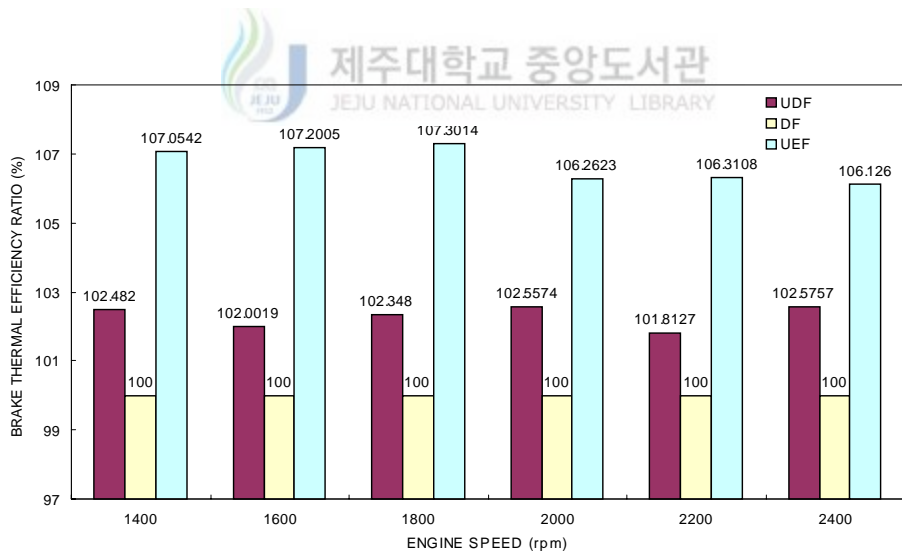


(b)

Fig. 11 Variation of specific fuel consumption of test engine with the engine speed for DF, UDF and UEF



(a)



(b)

Fig. 12 Variation of specific fuel consumption of test engine with the engine speed for DF, UDF and UEF

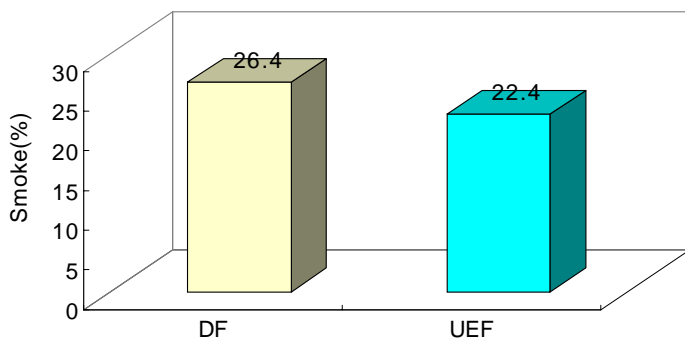
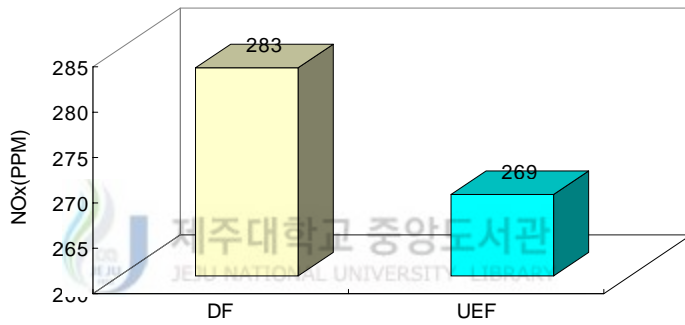
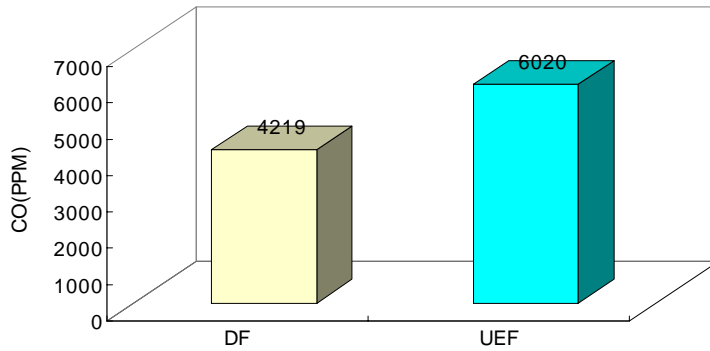


Fig. 13 Comparison exhaust fumes for DF and UEF

## V. 결 론

본 연구는 경유, 초음파 에너지 부가 경유와 초음파 에너지 부가 에멀전 연료를 기관성능시험장치를 이용해 4/4부하 · 80℃에서 기관 회전속도(1400~2400rpm)변화에 따른 기관출력, 연료소비율 및 효율을 측정하고, 또한 4/4부하 · 80℃, 2000rpm에서 배출가스 CO, NO<sub>x</sub> 및 매연의 배출농도를 측정한 결과 다음과 같다.

1. UDF는 연료의 미립화로 인하여 연소 효율이 좋아져 연료소비율은 2~2.5% 감소하였고, 제동마력은 최대 1.32% 증가하였다. 연료소비율 감소와 제동마력 증가에 따라 정미연료소비율은 1.8~3.5%, 정미열효율은 2~2.6% 향상되었다.
2. UEF 사용시 토크와 제동마력은 각각 0.4~1.35%, 0.41~1.34% 감소하였고, 연료소비율은 3.15~4.05% 증가하였다. 제동마력의 감소와 연료소비율 증가에도 불구하고 에멀전 연료의 발열량이 적은 관계로 제동열효율은 6.1~7.3% 향상되었다.
3. UEF는 물을 포함하고 있어, 연소과정중 물이 연소실내 열을 흡수하여 연소실내 온도를 저감시켜 NO<sub>x</sub>는 5% 감소하였다.
4. UEF가 연료분무상의 단점에도 불구하고 연소시에 미세폭발에 의해 연소촉진효과와 초음파 에너지에 의한 미립화에 기인한 것으로 분사특성의 부정적 효과가 연소시에 보완되어 매연의 농도는 15.2% 감소하였다.



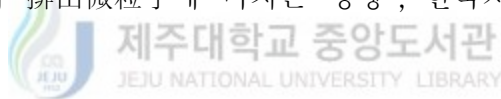
## VI. 참고문헌

1. 大内日出外 2人, 1982, “ディーゼ燃料の平均分子構造の解析”, 内燃機關, Vol. 21, No. 5, pp. 9~21.
2. 이창식, 1988, “디젤 기관의 저질유 연소에 관한 연구”, 자동차공학회지 Vol. 10, No. 1, pp. 82~87.
3. 조진호, 김형섭, 박정률, 1992, “디젤기관의 연소와 배출물에 관한 연구”, 대기기계학회논문집 제 16권 제 11호, pp. 180~188
4. 조진호, 박정률, 정수경, 1992, “디젤 기관의 연소와 배출물에 관한 연구 (II) - 메탄올 퓨미게이션법 사용시 연소와 배출물 -”, 한양대학교, Vol. 35
5. 오영택, 1996, “디젤기관의 대체연료로서의 식물유”, 자동차공학회지, Vol. 18, No. 2
6. 高長權, 1987, “代替燃料로서 油菜油을 사용한 小型農用 디젤機關의 性能向上에 關한 實驗的研究”, 慶尙대학교 대학원 農工學科博士學位論文集.
7. Angelo De Vita, 1989, "Multi-cylinder D.I.Diesel Engine Tests with Unstabilized Emulsion of Water and Ethanol in Diesel Fuel", SAE Paper 890450



8. 오승목, 서희준, 허환일, 임경식, 김기선, 2000, “에멀전 연료를 이용한 디젤 엔진의 분무 및 배기특성 연구”, 한국자동차공학회 2000년 추계학술대회, pp. 439~443.
9. 최계원, 최경호, 이종태, 김명년, 1994, “디젤기관에서 디젤/물 Emulsion 연료의 수치연소 해석”, 한국자동차공학회 추계학술대회 943891
10. 류정인 외 3인, 1992, “초음파 연료분사 장치를 이용한 가솔린 기관의 성능 향상에 관한 연구”, 액체 미립화 학술 강연회 논문집.
11. 박종규, 윤면근, 최두석, 김관태, 류정인, 1995, “초음파 에너지 부가연료 사용시 디젤기관의 성능특성에 관한 연구(II)”, 한국자동차공학회 1995년 추계학술대회, 95-17-0108
12. 최두석, 류정인, 1997, “ 분사노즐 형상 변화와 초음파 에너지 부가장치를 이용한 디젤기관의 성능특성(I)”, 한국자동차공학회논문집, 제5권 제4호, pp. 160~170
13. 류정인, 1992, “초음파 연료공급장치를 이용한 디젤기관의 성능 향상에 관한 연구”, 한국에너지 기술연구소, X1-65-77.
14. 李成來, 1987, “吸氣管內에서 超音波를 利用한 燃料의 微粒化에 대한 實驗的 研究”, 충남대학교 대학원 工學碩士學位論文集.

15. 윤면근, 최관호, 최장원, 류정인, 1994, “EFI기관에서 초음파에너지 부가 연료의 무하 특성에 관한 연구 - 연료의 분자 구조 분석, 한국자동차공학회 추계학술대회, 943914
16. 丁明鎭, 1993, “디젤機關의 燃燒向上을 위한 低質油의 超音波處理에 關한 研究”, 충남대학교 工學博士學位論文.
17. 崔璋源, 1995, “超音波 燃料供給裝置에서 噴射機의 脈動流가 噴霧粒經에 미치는 影響에 關한 研究”, 충남대학교 工學碩士學位論文.
18. 이상석, 김희년, 김봉곤, 하종률, 1990, “直噴式 디젤機關에서 Cavity形狀이 燃燒特性과 排出微粒子에 미치는 영향”, 한국자동차공학회지, Vol. 12, NO. 6
19. 오영택, 1998, “디젤기관의 대체연료로서 폐식용유의 유용성에 관한 연구”, 대한기계학회논문집 B권, 제 22권 제 4호 pp. 481~488
20. 조진호, 김형섭, 박정률, 1991, “디젤기관의 연소와 배출물에 관한 연구 - 경유-물-메탄올의 유화연료 사용시”, 자동차공학회지, Vol. 13, No. 5
21. 에너지기술서비스, <http://www.etis.net/welcome.htm>
22. 한국에너지정보센터, <http://www.energycenter.co.kr/>



# 감사의 글

여기 소중한 사람들이 있습니다.

언제나 나를 비추며 반짝이는 사람들이 있습니다.

이분들이 있기에 저에게는 소중한 논문을 마칠 수 있었던 것 같습니다.

끝까지 저의 능력을 인정해 주시고 이해와 관심으로 이끌어 주신 권기린교수님. 저의 논문에 깊은 관심과 아낌없는 지도를 해주신 허종철교수님과 현명택교수님. 항상 관심과 격려를 하여 주신 김귀식교수님, 조정호교수님, 임종환교수님, 정동원교수님, 최경현교수님, 강철웅교수님께 고개 숙여 깊이 감사 드립니다.

미로에서 갈 곳 몰라 망설이고 있는 내게 따뜻한 손을 내밀어 주신 강양숙선생님과 명범이형. 내 생활의 결집을 지적해 주고, 여러 어려움을 같이 해결하여 주신, 창수형, 경부형, 동원이형, 민호형, 상철이형, 석우형, 유일한 동기 승현이, 재학생 모두, 그리고 공대 조교선생님들께 감사 드리며 하는 일 모두 잘 되길 기원합니다.

그동안 묵묵히 아들의 모습을 지켜봐 주신 부모님의 고생스러운 삶 속에서도 모든 것을 배풀어주신 은혜가 있기에 지금 이 자리까지 올 수 있었던 것 같습니다. 또한 언제나 변함 없는 사랑을 주신 할머니님과 고모, 오늘의 제가 있기까지 힘써주신 누님들, 형님과 동생 동훈이.

이 작은 논문이 자그마한 결실을 맺을 수 있다면 누구보다도 부모님과 가족의 몫이라 생각합니다.

이런 좋은 분들의 사랑에 진심으로 감사 드립니다.

이러한 사랑에 보답해 드리는 것은, 아직도 초월하지 못해서, 슬픈 하루를 닦아 나의 내일을 작은 기쁨으로 채워 넣고 열심히 살아가는 것 일겁니다. 그리고 그 분들처럼, 저도 사랑을 나누는 모습을 보여드리도록 하겠습니다.