

# 유체혼합유를 사용하는 기관에서 초음파에너지의 영향 Effect of Ultrasonic Energy in the Engine using Diesel Fuel Blended Rape-seed Oil

권기린 · 고경남

K. R. Kwon and K. N. Ko

**Key Words** : Ultrasonic Energy(초음파 에너지), Blend Oil(혼합유), Engine Performance(엔진성능), BSFC(제동 연료소비율), Thermal Efficiency(열효율)

**Abstract** : The effect of ultrasonic energy for diesel fuel and blend oil has been revealed in this paper. The experimental setup consisted of a high speed diesel engine with 4 cylinder, dynamometer and ultrasonic fuel feeding system. Ultrasonic energy was added to diesel fuel and blend oil, which is a blend of diesel fuel and rape-seed oil. As engine speed was changed, engine torque and power, brake specific fuel consumption and thermal efficiency were measured in detail. As the results, by adding ultrasonic energy to diesel fuel and blend oil, the engine performance was improved in range of the experiment. The effect of improvement on brake specific fuel consumption and thermal efficiency for blend oil is higher than that for diesel fuel. When ultrasonic energy was added to diesel fuel or blend oil, a rise in engine torque for diesel fuel was higher than that for blend oil, but the effect of ultrasonic energy was small. From these results, it may be desirable to add ultrasonic energy to blend oil for the use of blend oil to diesel engine.

## 1. 서 론

산업화가 진행됨에 따라 에너지 소비량이 증가하고, 이로 인한 화석연료의 의존한계성과 환경 문제가 대두되고 있다. 따라서 세계 각국이 에너지 절약에 힘쓰고 있고, 친환경적이면서 화석연료를 대체할 수 있는 새로운 에너지원의 개발에 적극 노력하고 있다.

새로운 에너지원으로 태양열, 풍력, 조력, 파력, 생물에너지 등에 대한 관심이 증가하고 있다. 태양열, 풍력, 조력 등은 이용하기에 많은 제약이 따라 그 한계를 보이고 있는 반면, 생물에너지는 간단한 공정처리를 통해 수송, 저장 및 이용에 많은 장점을 가지고 있고, 재생산이 가능하다는 이유 등으로 많은 연구자들이 관심이 되고 있다. 특히, 식물유는 청정 대체에너지원으로 간단한 공정을 통해 디젤기관에 직접적으로 적용이 가능하고 배출가스로 인한

공해물질이 기존 화석연료를 사용했을 때 보다 훨씬 적어서 주목받고 있다.

식물유에 대한 기초 연구로 고<sup>1)</sup>, 하<sup>2)</sup>, 오<sup>3)</sup> 등은 해바라기, 유채, 대두, 야자, 땅콩 등에 관한 생산성, 에너지성, 경제성에 대한 연구를 통하여 연료로서의 가능성을 보였다. 폐식용유<sup>4)</sup> 및 바이오디젤유<sup>5)</sup>를 디젤기관에 적용했을 때의 기관성능에 대한 연구 역시 진행되어 왔다. 또한, 내연기관 연료로서 식물유의 이용가능성을 조사하기 위하여 일찍이 많은 연구자들이 식물유의 휘발성, 저장성, 혼합성, 연소성, 밀도, 점도 등을 규명하였다.

식물유는 체적비 에너지 함량이 경유의 94%정도이며 경유보다 7-9% 무거울 뿐만 아니라, 점도도 11-17배로 높고, 고점성 및 저휘발성으로 인해 분사시 무화상태가 나쁘며, 연소시 연소실내에 많은 양의 연소생성물이 퇴적하는 등 개선되어야 할 점이 많다는 연구결과가 있었다. 그러나 식물의 지방산은 기관의 탄소 퇴적을 감소시키며 불포화성이 낮은 경우에 무화를 개선시킬 수 있고, 식물유는 디젤유에 비하여 대기오염물질 배출이 적어서 연료로서의 장점도 가지고 있다. 보다 많은 연구를 통해 식물유의 고점성 및 저휘발성으로 인한 문제를 해결해 나

접수일 : 2005년 5월 7일  
권기린(책임저자) : 제주대학교 기계에너지시스템공학부  
E-mail : krkwon@cheju.ac.kr Tel. 064-754-3621  
고경남 : 제주대학교 청정에너지 특화인력 양성 사업단

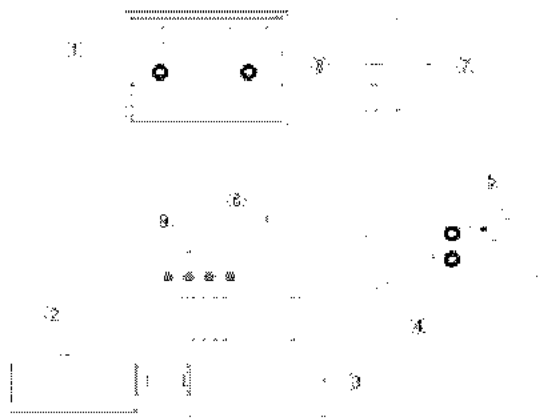
가야 할 것이다.

최근 초음파에너지를 이용한 디젤연료의 미립화에 대하여 많은 연구가 이루어지고 있다<sup>6-9)</sup>. 식물유 연료의 미립화를 개선시키기 위하여 예열 및 화학적 처리 등의 방법이 연구되어 왔지만, 식물유 연료에 초음파 에너지를 추가하여 연구한 예는 없다. 따라서 본 연구에서는 경유와 유체유를 혼합한 유체 혼합유의 디젤기관에 대한 적용 가능성을 살펴보고, 더욱이 유체혼합유에 초음파에너지를 추가했을 때에 기관에 미치는 영향을 살펴보고자 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

Fig. 1은 본 실험에 사용된 실험장치의 개략도이다. 실험장치는 4기통 고속디젤엔진, 동력계, 초음파 연료공급장치 등으로 구성하였다.

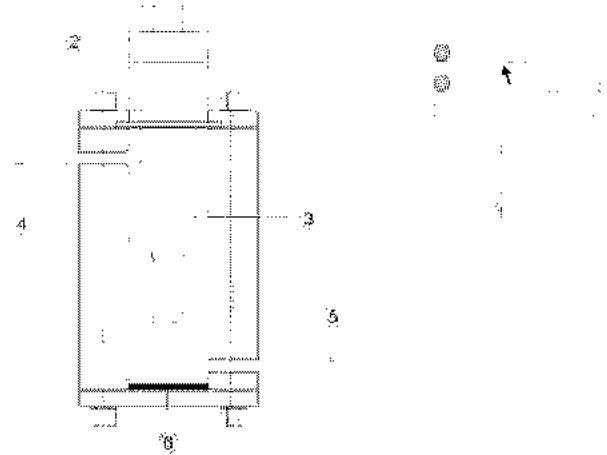


- ① Main control console
- ② Eddy current dynamometer
- ③ Engine
- ④ Ultrasonic fuel supply device
- ⑤ Ultrasonic generator
- ⑥ Engine cooling water tank
- ⑦ Fuel tank
- ⑧ Flowmeter
- ⑨ Temperature sensor panel

Fig. 1 Experimental apparatus

본 실험에 사용된 엔진은 H사의 직렬 4기통 엔진이며 연소실은 와류실식이다. 실린더에는 건식 실린더라이너가 압입되어 있으며 배기량은 2500cc이다. 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.

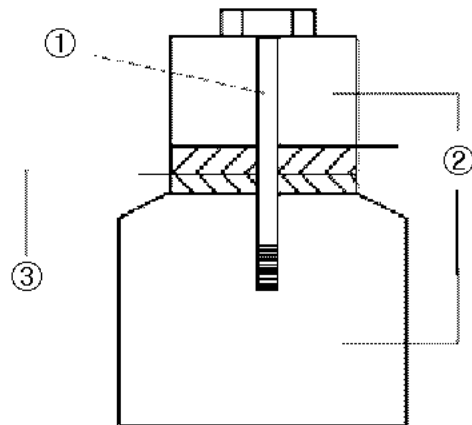
Fig. 2는 본 실험에서 사용한 초음파 연료공급장치를 나타낸다. 초음파 에너지 부가에 의한 연료의 무화는 공동현상에 의한 것이 지배적이기 때문에 연료공급장치는 공동현상을 극대화시킬 수 있도록 초음파의 주파수 및 진폭 등을 고려한 구조로 제작하였다<sup>10)</sup>. 이 장치는 초음파 발생을 위한 진동자, 진폭 확대를 위한 혼(Horn) 및 반사판 등으로 구성되어 있다.



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

Fig. 2 Schematic diagram of ultrasonic fuel feeding system

Fig. 3은 초음파 연료공급장치에 사용된 진동자를 나타낸다. 이것은 고온, 고압과 진동에 견디며 부착이 용이하고 내구성 등을 고려하여 28.5kHz의 진동특성을 갖는 볼트체결형을 선택하였다.



- ① Bolt
- ② Metal block
- ③ Transducer

Fig. 3 Schematic diagram of inner bolted Langevin transducer

진동자를 진동시킨 후의 진폭은 진동자의 강도에 따라 한계가 있으므로, 진동자 단면의 진폭을 확대하여 진동자의 기계적 에너지를 효과적으로 연료에 전달하기 위한 혼을 제작하여 진동자에 부착하였다. Fig. 4는 혼의 개략도이다. 진동의 진폭 확대율은 진동의 입력면(S1)의 단면과 출력면 단면(S2)의 면적비로 이루어진다. 공진 주파수가 28.5kHz일 때, 음속전달계수,  $C=λf$  즉,  $λ=C/f$ 가 되므로 진폭확대자 재질의 음속전달계수에 의해 파장( $λ$ )과 진폭이 최대인 경우( $L1=L2=λ/4$ )를 고려하여 진폭이 최대가 되도록 혼을 제작하였다.

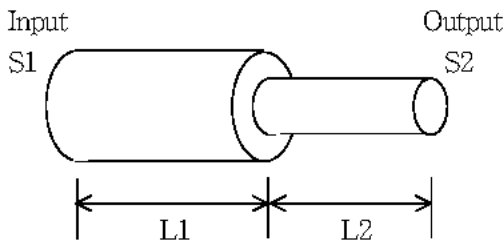


Fig. 4 Schematic diagram of step type horn

### 2.2 혼합유

본 실험에서 사용한 혼합유는 유채유와 경유를 온도 20℃에서 용적비 50:50의 비율로 혼합한 것으로, 발열량은 순수 경유의 약 96%이고, 동점도는 약 4.5배이다. 본 실험에서 사용한 혼합유의 물리 화학적 특성은 Table 1<sup>1)</sup>과 같다.

Table 1 Properties of the blend oil

Blended ratio		Specific gravity at 20℃	Lower heating value (kcal/kg)	Flash point (℃)	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
70	30	0.8480	10,310	71	7.91
50	50	0.8657	10,130	92	15.73
30	70	0.8867	9,970	177	29.42
10	90	0.9036	9,790	298	43.72
0	100	0.9190	9,720	318	50.81

### 2.3 실험방법

본 실험에서는 경유 및 혼합유에서 초음파에너지 부가에 따른 영향을 살펴보기 위하여 순수 경유(Light Oil ; LO), 초음파 부가 경유(Ultrasonic Light Oil ; ULO), 순수 혼합유(Blend Oil ; BO) 그

리고 초음파 부가 혼합유(Ultrasonic Blend Oil ; UBO)에 대하여 엔진 성능에 관한 실험을 행하였다.

일반적인 연료공급장치를 장착한 경우와 초음파 연료공급장치를 사용한 경우에 대하여 실험을 행하였고, 인젝션 펌프 컨트롤레버를 완전히 개도하여 엔진의 회전수를 제어하는 방식인 속도 고정법으로 회전수 1400rpm에서 2400rpm까지 200rpm씩 증가시키며 엔진성능시험을 행하였다.

각종 측정값으로부터 계산식은 다음과 같다.

$$N_b = \frac{2\pi \times n \times T}{60 \times 102 \times 9.8} \quad (1)$$

$$f_b = \frac{B}{N_b} \quad (2)$$

$$\eta_b = \frac{N_b \times 3600 \times 1000}{B \times H_l \times 4.1868} = \frac{3600 \times 1000}{f_b \times H_l \times 4.1868} \quad (3)$$

여기서,

$N_b$  : 계동출력 (kW)

$n$  : 엔진 회전수 (rpm)

$T$  : 엔진 토크 (Nm)

$f_b$  : 계동 연료소비율 (g/kWh)

$B$  : 연료소비량 (g/h)

$\eta_b$  : 계동 열효율

$H_l$  : 저위 발열량 (kcal/kg)

(3)식에서 1kcal = 4.1868kJ을 적용하였다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

### 3.1 토크 및 엔진동력

회전수에 따른 토크의 변화와 엔진동력을 Fig. 5에 나타내었다. 모든 연료유에서 최대 토크는 2000rpm에서 나타나고 있고, 초음파 부가 혼합유가 가장 큰 토크 값을 나타내고 있다. 이와 같이 토크가 최대까지 증가했다가 다시 감소하는 이유는 기관속도가 어느 정도 이상에서는 마찰로 인한 손실이 지배적이기 때문이다. 혼합유 및 초음파 부가 혼합유의 회전수에 따른 토크 변화를 살펴보면 낮은 회전수에서 경유에 비해 큰 토크를 나타내고, 2000rpm에서 최대 토크를 가진 후 회전수가 증가할수록 토크가 급격히 감소하여 2400rpm에 이르러 경유의 토크 값에 비하여 혼합유는 조금 낮고 초음파 부가 혼합유는 거의 같은 토크를 보이고 있다.

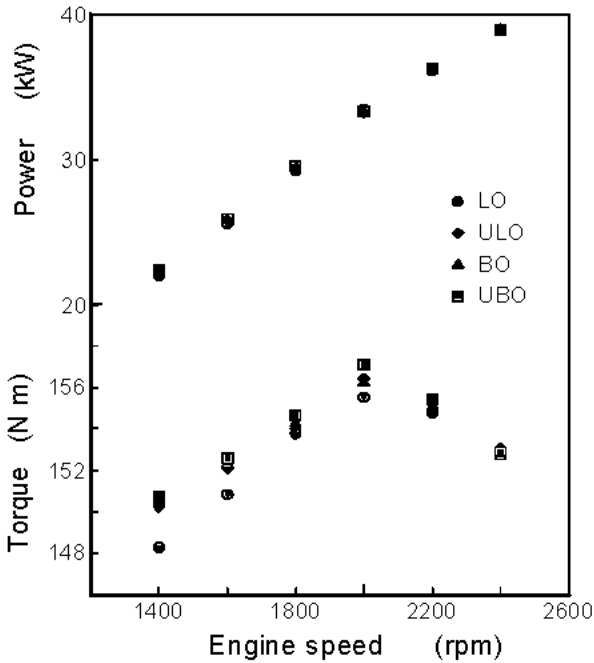


Fig. 5 Relation of engine power and torque vs. engine speed

낮은 회전수에서 혼합유가 경유에 비해 비교적 큰 토크를 갖는 이유는 혼합유의 경우가 경유에 비해 높은 점성으로 인해 분무입자가 크기 때문으로 사료된다<sup>3)</sup>. 즉, 혼합유의 큰 분무입자들이 낮은 기관 회전수에서 충분히 연소할 시간을 갖기 때문으로 생각되지만, 이에 대한 추가 연구가 필요하다.

비교연구를 위하여 이 그림에는 엔진동력도 함께 나타내었다. 전반적으로 동력은 연료의 종류에 관계 없이 대개 일정하다. 이 실험범위의 기관속도에서는 토크처럼 최대까지 증가했다가 다시 감소하는 현상은 보이지 않고 있다. 그러나 기관속도를 보다 더 높인다면 최대 값을 나타낸 다음 다시 감소할 것으로 사료된다<sup>11)</sup>.

경유와 혼합유의 초음파 부가에 따른 토크 상승효과를 Fig. 6에 나타낸다. 전체적으로 초음파 부가에 따른 효과는 1.5% 미만으로 그리 크지 않다. 초음파를 부가하였을 때 경유는 실험 조건에서 평균 0.64%, 최대 1.32% 그리고 혼합유인 경우에는 평균 0.26%, 최대 0.56%로 나타나 초음파 부가에 따른 토크 상승효과는 경유에서 더 많이 나타나고 있다. 그리고 경유에서는 낮은 회전수에서 초음파 부가에 따른 토크 상승효과가 크게 나타나고 회전수가 증가할수록 점차 감소하는 경향을 보이지만, 혼합유에서는 회전수 증가에 따라 토크 상승효과가 증가하다 감소하여 초음파 부가에 따른 토크 상승효과가

최대 회전수인 2000rpm에서 나타나는 특징을 보이고 있다.

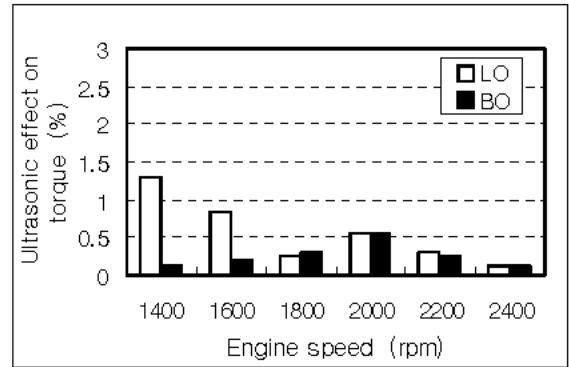


Fig. 6 Ultrasonic adding effect on torque

### 3.2 제동 연료소비율

Fig. 7은 엔진회전수에 따른 제동연료소비율 (Brake Specific Fuel Consumption ; BSFC)을 나타낸다. 이 그림에서 혼합유에 비해 경유의 제동 연료 소비율이 비교적 적게 나타나고 있다. 이는 혼합유의 발열량이 경유 보다 작기 때문으로 생각된다<sup>12)</sup>.

전체적으로 회전수가 증가함에 따라 제동연료소비율은 조금 감소하다가 다시 증가하는 경향을 보이고 있다. 이것은 엔진 회전수가 증가하면 각 사이클에 걸리는 시간이 짧아지므로 열손실이 감소하고 따라서 연료소비율은 감소하기 때문이다. 그러나 보다 높은 회전수에서는 마찰손실이 증가하여 결과적으로 연료소비는 증가하고 있다고 해석할 수 있다<sup>11)</sup>.

또한 초음파에너지의 부가로 경유와 혼합유 모두 연료소비율의 감소효과를 보이고 있으므로 연료절감의 효과도 기대할 수 있다.

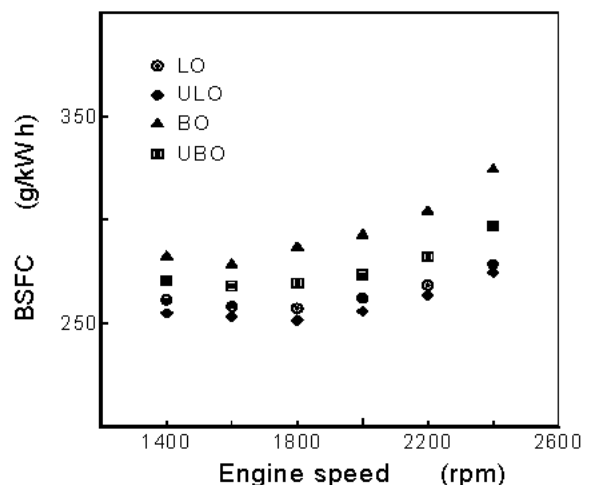


Fig. 7 Relation of BSFC vs. engine speed

초음파 부가에 따른 제동연료소비율 개선 효과를 Fig. 8에 나타낸다. 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. 경유는 회전수가 2000rpm 까지 큰 변화 없이 일정하게 나타나며 그 이후 감소하는 경향을 보인 반면, 혼합유는 1600rpm을 제외하고 초음파 부가에 따른 연료 감소 효과는 엔진 회전수가 증가 할수록 증가하고 있다.

3.3 열효율

Fig. 9는 엔진회전수에 따른 열효율의 변화를 나타낸다. 열효율은 (3)식으로부터 구하였다. 혼합유는 실험범위에서 열효율이 평균 28.47%이고 최대 30.07%이다. 경유는 평균 30.29%, 최대 31.09%로 측정되어 혼합유인 경우가 경유에 비해 열효율이 낮게 나타나고 있다. (3)식에 의하면, 연료 소비율과 저위 발열량이 작을수록 열효율은 크다. 따라서 이 결과는 혼합유가 경유에 비해 저위 발열량이 조금 낮음에도 불구하고 Fig. 7에서 보이는 것처럼 연료 소비율이 상대적으로 크기 때문으로 해석된다.

또한 혼합유나 초음파 부가 혼합유에서의 최대 열효율을 보이는 회전수는 1600rpm으로 경유나 초음파 부가 경유에서의 1800rpm에 비해 낮은 회전수에서 보이고 있다.

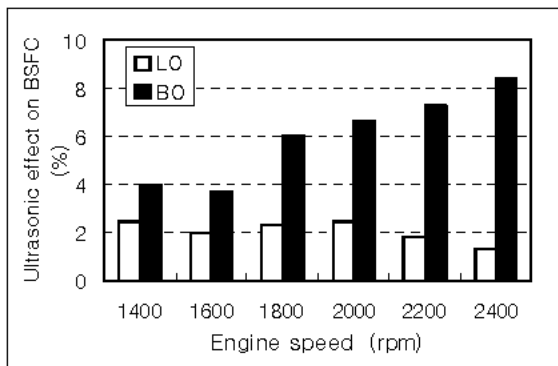


Fig. 8 Ultrasonic adding effect on BSFC

특히 혼합유는 최대 열효율이 나타나는 1600rpm 이후에는 회전수가 증가함에 따른 열효율의 감소가 가장 급한 특징을 보이고 있다. 이는 혼합유가 경유에 비해 높은 점성으로 인해 분무입자가 크고<sup>3)</sup>, 높은 회전수에서 완전연소를 위한 충분한 시간이 부족하게 되어 불완전 연소가 증가하기 때문으로 생각된다. 그리고 경유와 혼합유 모두 초음파 에너지를 부가함에 따라 열효율은 개선되고 있음을 알 수 있다.

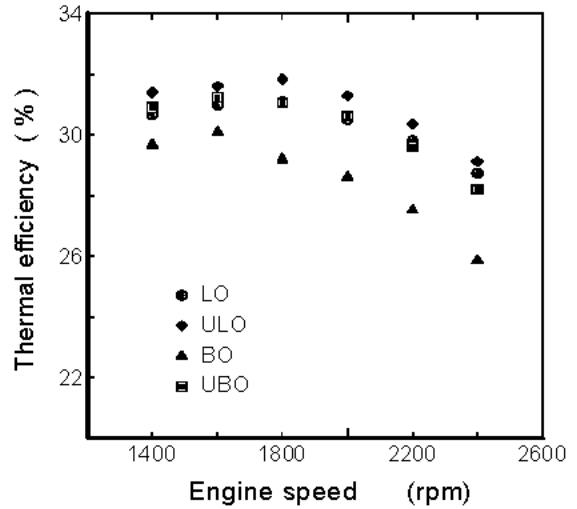


Fig. 9 Comparison of thermal efficiency

Fig. 10은 초음파 부가에 따른 각 연료의 열효율 개선효과를 나타낸다. 초음파 부가에 의한 열효율 개선 효과는 경유에 비해 혼합유인 경우가 크게 나타나고 있다. 혼합유의 경우, 대체로 엔진회전수가 증가할수록 초음파에너지 부가효과가 크게 나타나고 있고, 경유의 경우는 회전수에 관계없이 대개 일정한 열효율 개선효과를 보이고 있다.

본 연구결과로부터 혼합유를 디젤기관의 연료로 사용하기 위해서는 초음파 에너지의 부가 효과가 크므로 이를 적용하는 것이 바람직하다고 사료된다.

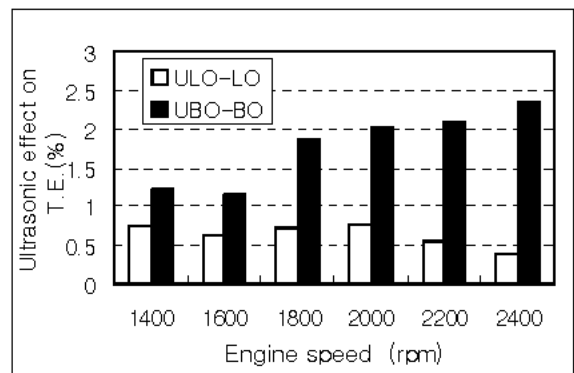


Fig. 10 Ultrasonic adding effect on the thermal efficiency

4. 결 론

본 연구에서는 경유 및 같은 비율로 혼합한 경유·유체 혼합유에 초음파 에너지를 부가했을 때에 기관성능에 미치는 영향을 조사하였다. 제동 연료소비율, 동력, 엔진토크 및 열효율을 비교 분석한 결

과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 경유 및 혼합유에 초음파에너지를 부가함으로써 기관성능이 개선되었다.
- 2) 초음파 부가에 따른 기관성능 개선 효과는 제동 연료소비율 감소 효과에서 가장 현저했다.
- 3) 초음파에너지를 부가하였을 때에 토크 상승효과는 혼합유보다 경유에서 더 많이 나타났지만 그 효과는 크지 않다.
- 4) 초음파 부가에 의한 열효율 개선 효과는 경유 보다 혼합유에서 크게 나타났다.

### 후 기

본 논문은 2004년도 제주대학교 발전기금 연구교수 지원계획에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. 고장권, 1987, "대체연료로서 유체유를 사용한 소형농용 디젤기관의 성능향상에 관한 실험적 연구", 박사학위논문, 경상대학교
2. 하창욱, 1984, "피마자유의 디젤기관 연료로서의 이용 가능성에 관한 연구", 석사학위논문, 경상대학교
3. 오영택, 1996, "디젤기관의 대체연료로서의 식물유", 자동차공학회지, 제18권, 제2호, pp. 72-92.
4. Oh, Y. T., 1998, "A Study on the Usability of Used Vegetable Oil as a Diesel Substitute in Diesel Engine", KSME Vol. 22, No. 4, pp. 481-488.
5. 유경현, 윤용진, 오영택, 2003, "바이오디젤유(미강유 에스테르)를 이용한 농업용 디젤기관의 연소 특성", 대한기계학회논문집 B권, 제 27권, 제 2호, pp. 181-187.
6. 최두석, 설진호, 류정인, 1994, "초음파 연료공급장치용 디젤자동차의 성능 향상에 관한 연구", 한국자동차학회논문집, 제2권 제1호, pp. 1-8.
7. 조성철, 윤면근, 류정인, 1997, "디젤자동차의 저공해형 연료공급장치 개발 I (유화연료의 특성 및 분무거동)", 한국액체미립학회지, 제2권 제3호, pp. 8-16.
8. 최두석, 1996, "초음파에너지부가 디젤유의 분무 특성과 기관특성에 관한 연구", 충남대학교, 박

### 사학위논문

9. J. V. Droughton, 1984, "The effect of ultrasonic mixing of fuel and air on the performance of an internal combustion engine", SAE 840238
10. 신현동, 1992, "초음파에너지를 가한 C.I. Engine의 성능특성에 관한 연구", 석사학위논문, 충남대학교
11. 김덕줄, 김병철, 김세웅, 장영준, 전충환, 1998, "내연기관공학", 교보문고, 서울, pp. 54-57.
12. 고장권, 1992, "대체연료를 사용할 경우의 디젤기관의 성능향상에 관한 연구", 한국박용기관학회지, 제16권, 제5호, pp. 97-110