

# 연료유의 초음파 처리에 의한 디젤기관의 성능향상에 관한 연구

양 정 규

여수수산대학

(1992년 4월 2일 접수)

## On the Performance Improvement of the Diesel Engine by Ultrasonic Treatment of Fuel Oil

Jung-Kyu YANG

Yosu National Fisheries University

(Received April 2, 1992)

This paper is an experimental study to investigate utility of ultrasonic treatment of fuel oil in diesel engine.

Experiment was carried out to clarify the effect of ultrasonic vibration on the characteristics of maximum pressure, fuel consumption ratio, smoke, BMEP and torque.

The results obtained are as follows :

1. In the case of given ultrasonic vibration, the maximum pressure is increased in all experimental conditions.
2. In the case of given ultrasonic vibration, the decrease effect of fuel consumption rate is increased at low rpm.
3. The generation quantity of soots is increased according to load. In the case of given ultrasonic vibration, the decreased quantity of soots does not vary according to load.
4. In the case of given ultrasonic vibration, the BMEP and torque are increased at low load.

### 서 론

현재의 자동차용 엔진은 낮은 유해가스 배출물, 그리고 높은 연료 경제성이 절실히 요구되고 있다. 급격한 자동차 수의 증가에 따른 연료소비의 증가와 더불어 심각한 대기오

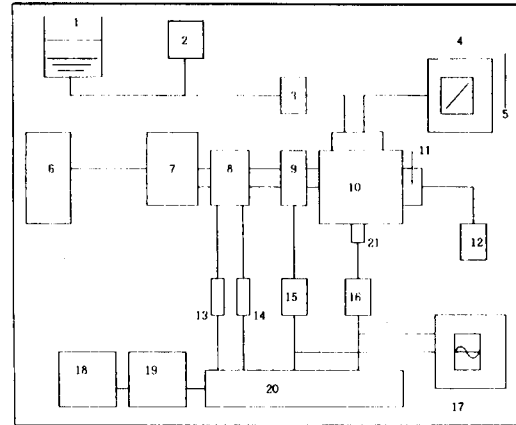
염은 이미 전 세계적의 문제로 대두되고 있다. 특히 디젤기관의 배기가스는 유해성분이 많아 우리나라에서는 디젤기관의 폐기론까지 거론되고 있는 실정이다<sup>1)</sup>. 이러한 문제를 해결하고자 하는 많은 연구들 중에는 액체연료와 연료공기의 혼합을 촉진시키는 수단으로

써 연료분무의 무화성 개선<sup>2)</sup>, 분사연료의 관통력 및 연소실 내의 분산성 개선<sup>3)</sup>, Swirl이나 Squish를 이용하는 방법, 초음파 진동을 이용한 액체의 미립화 현상<sup>4)</sup>을 이용하는 방법 등이 있다. 그 중에서도 최근 초음파 진동을 이용하는 방법이 많이 연구되고 있다. 이것은 초음파 진동의 액체에 대한 분산작용 (Dispersion)과 캐비테이션 (Cavitation)의 효과<sup>5)~7)</sup>를 이용하여 연료에 활성화에너지를 공급하여 연소특성을 개선시켜 기관의 성능향상을 꾀하는 것이다.

본 연구에서는 상기 특성을 이용할 수 있도록 초음파 진동발생장치를 제작하여, 4기통 디젤기관의 연료공급계통에 부착시켜 성능시험을 행하였다.

### 실험장치 및 방법

Fig.1은 실험장치의 개략도이다. 시험기관(10)은 4기통 4사이클 직접분사식 디젤기관으로 총배기량 2367cc, 분사압력은 135kg/cm<sup>2</sup>이다. 연료소비량은 fuel burette (2), 공기량은 air surg tank에 부착된 경사 manometer (4)로 측정하였다. 초음파 연료공급장치 (3)은 연료탱크와 분사펌프 사이에 설치하였다. 또한 (7)은 기관이 부하조정 및 동력을 측정하기 위한 DC type dynamometer로 흡수마력은 100ps이다. 실린더 내의 압력은 기관의 1번 실린더 헤드에 압력 transducer (21)을 설치하여 연소실내의 압력변화를 측정하였다. 크랭크 각도는 encoder (9)로, 토오크와 기관회전수는 토오크 transducer와 rpm transducer(8)을 사용하여 측정하였다. 각종 증폭기를 통하여 증폭된 아날로그 신호를 A/D converter(12bit, 100kHz)를 통하여 디지털 신호로 바꾼후 퍼스널 컴퓨터(19)로 수집한 후 분석하였다. 여기서 신호 수집방법은 퍼스널 컴퓨터의 keyboard를 누르므로써 첫 TDC mark에서 trigger시

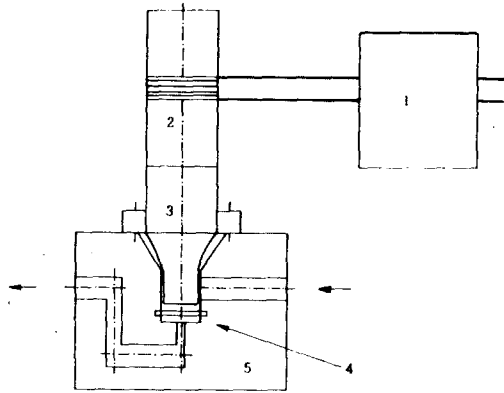


- |                                 |                             |
|---------------------------------|-----------------------------|
| 1. Fuel tank                    | 12. Smoke meter             |
| 2. Fuel burette                 | 13. Torque indicator & Amp. |
| 3. Ultrasonic fuel oil reformer | 14. R.P.M. indicator & Amp. |
| 4. Air tank with manometer      | 15. Conditioning circuit    |
| 5. Thermometer                  | 16. Charge amp.             |
| 6. Dynamometer controller       | 17. Oscilloscope            |
| 7. Dynamometer                  | 18. Printer                 |
| 8. Torque & R.P.M. meter        | 19. Personal computer       |
| 9. Encoder                      | 20. A/D converter           |
| 10. Test engine                 | 21. Pressure transducer     |
| 11. Thermometer                 |                             |

Fig. 1. Schematic diagram of experimental equipments.

켜 10kHz의 주기로 신호를 수집하였다.

Fig. 2는 실험을 위하여 제작된 초음파 연료공급장치이고, 그 제원은 Table 1과 같다. 초음파 연료공급장치의 입구로 들어간 연료는 horn(3)의 말단에서 초음파 진동에너지를 받은 후 필터를 통하여 출구로 나가게 된다. 초음파 발생장치 (1)은 주파수가 28kHz이고, 진동자 (2)는 압전현상을 이용한 볼트체결형 랑개빈 자동자이다. horn은 step형을 사용하였으며, 재질은 드랄루민이다. 실험에 사용한 연료는 경유이고, 이때 연료유의 점도는 초음파 처리 전후에서 각각 4.82cSt와 3.96cSt이다. 실험은 부하 일정법으로 1/4, 1/2, 3/4부하에 대하여 실시하였으며, 각각의 부하에 대하여 기관회전수를 800rpm에서 2800rpm까지 변화시켜 가면서, 초음파 진동을 가한 경우와 가하지 않은 경우를 비교, 측정



- 1. Ultrasonic generator
- 2. Ultrasonic transducer
- 3. Horn
- 4. Filter (10 μm)
- 5. Base frame

Fig. 2. Ultrasonic fuel inlet equipment.

Table 1. Specification of ultrasonic fuel inlet equipment

Items	Specifications
Frequency	28 kHz
Rectifying Oscillation	Full wave rectifying Autotuning by self detection
Trancsducer	B.L.T.
Amplitude (Peak to Peak)	40 μm
Space (Horn to filter)	2mm
Horn type	Step

하였다. 그리고 데이터는 5사이클 분을 수집하여 평균값을 계산에 이용하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 연소 압력 선도

Fig. 3, 4는 초음파 진동을 가하지 않은 경우와 가한 경우의 압력-크랭크각( $p-\theta$ ) 선도를 나타낸 것이다. Fig. 4에서 보면 초음파 진동을 가한 경우는 연소실내의 최고압력

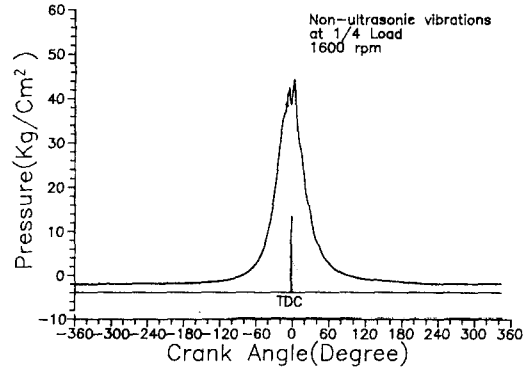


Fig. 3.  $P-\theta$  Diagram.

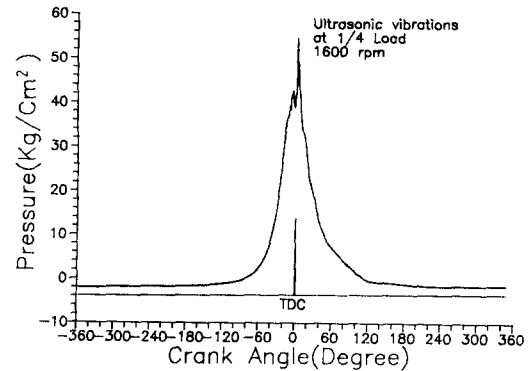


Fig. 4.  $P-\theta$  Diagram.

( $P_{max}$ ) 값이 증가함을 알수 있다. 이는 초음파 진동에 의해 무화에 가장 큰 영향을 미치는 연료유의 점도를 감소시켜 아래의 식<sup>8)</sup>과 같이 분무유의 입경을 작게하여 연료개선효과<sup>9)</sup>를 가져와서 상사점(TDC) 이후의 연소과정에서 압력상승률( $\Delta P/\Delta\theta$ )이 커지고 있기 때문으로 생각된다.

$$Do = 70.5 \frac{d}{V_n} \left\{ \frac{S}{\gamma_f} \right\} \left\{ \frac{\gamma_b}{\gamma_a} \right\}^{0.25} \sqrt{g} \times \left\{ 1 + 3.31 \frac{\nu \sqrt{g}}{s \gamma_f d} \right\}$$

- 여기서,  $Do$  : 분무액 입경
- $d$  : 노즐 직경
- $s$  : 표면장력
- $\nu$  : 연료의 점도
- $V_n$  : 분출 속도

$\gamma_a, \gamma_f$ : 공기 및 연료유의 비중

이것은 초음파 진동이 연료에 활성화에너지를 주어서 연료가 연소실내에서 더 미세하고 고르게 분무되기 때문이라 생각된다.

초음파 진동을 가한 경우와 가하지 않은 경우의 최고 압력이 나타나는 크랭크 각도를 비교하면 초음파 진동을 가한 경우가 초음파 진동을 가하지 않은 경우보다 TDC후 더 좁은 범위에 존재하고 있다. 이는 초음파진동을 가하지 않은 경우에는 부하변동에 따라 연료 무화특성의 변화가 크데 반하여 초음파 진동을 가한 경우에는 부하변동에 그다지 영향을 받지 않기 때문이라 생각된다.

2. 연료소비율

Fig. 5는 1/4부하에서 rpm에 따른 연료소비감소율의 변화를 나타낸 것이다. Fig. 5에서 보면 연료소비가 초음파진동을 가한 경우가 가하지않은 경우보다 약 3~17%정도 감소하였으며, 연료소비율의 감소경향은 rpm이 낮을수록 그 효과는 크게 나타나고 있다. 그 이유는 초음파 진동에 의하여 점도감소등 연소개선의 효과가 크고, rpm의 증가에 따라 Fuel flow rate가 증가하게 되므로, 연료가 충분한 초음파진동 에너지를 받지 못하고 공급되기 때문이라 생각된다.

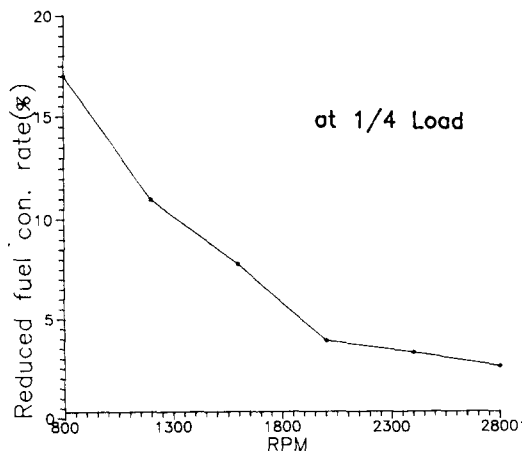


Fig. 5. Reduced fuel consumption rate.

3. 배기가스

Fig. 6은 부하에 따른 배기가스의 그을음 농도변화를 연료의 초음파 처리를 한 것과 초음파 처리를 하지않는 것을 비교한 것이다. Fig. 6에서 알 수 있듯이 초음파 진동을 가한 경우가 초음파 진동을 가하지 않은 경우보다 약 18~26% 감소를 보였으며 부하가 클수록 배기가스 발생량도 증가하고 있다. 어느 초음파 진동에 의한 점도 저하등에 의해 공기와 연료입자의 혼합성이 좋게되어 연료개선에 효과를 주기 때문으로 생각된다. 초음파 진동을 가한 경우의 배기가스의 감소량은 부하에 따라 거의 일정하게 나타나고 있다.

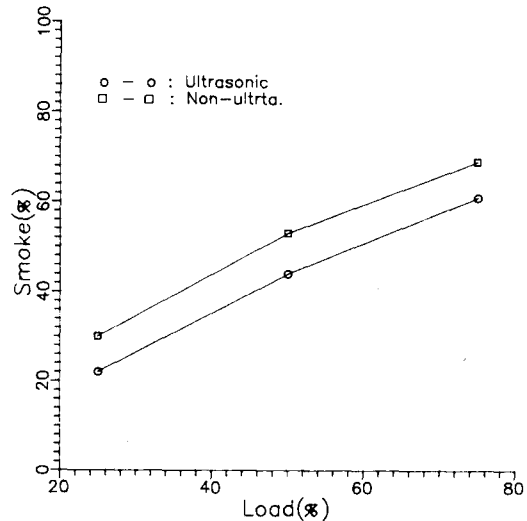


Fig. 6. Relation of smoke (%) vs. load (%).

4. 평균유효압력

Fig. 7은 2000rpm에서 초음파 진동을 가한 경우와 가하지 않는 경우의 부하에 따른 평균유효압력을 비교한 것으로서, 그림에서 보는 바와 같이 부하가 증가함에 따라서 평균유효압력은 증가하는 경향을 보이고 있다. 초음파 진동을 가한 경우가 가하지 않는 경우보다 19~25% 증가를 보였으며, 평균유효압력도 저부하에서 증가가 크게 나타나고 있

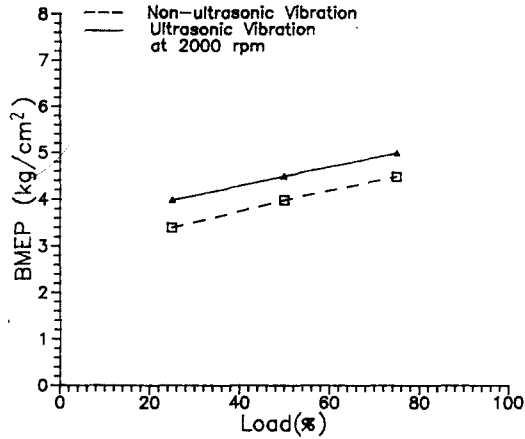


Fig. 7. Relation of BMEP vs. load.

다. 그 이유는 초음파 진동을 가한 경우는 초음파에너지를 충분히 받아서 연료가 연소실내에서 더 미세하고 고르게 분사되어 연소가 촉진되었기 때문이다.

### 5. 토 오 크

Fig. 8은 2000rpm에서 초음파 진동을 가한 경우와 가하지 않는 경우의 부하에 따른 토오르크를 비교한 것으로서, 그림에서 보는 바와 같이 부하가 증가함에 따라서 토오르크는 증가하는 경향을 보이고 있다. 초음파 진동을 가한 경우가 가하지 않는 경우보다 11~26% 증가를 보였으며 토오르크도 평균유

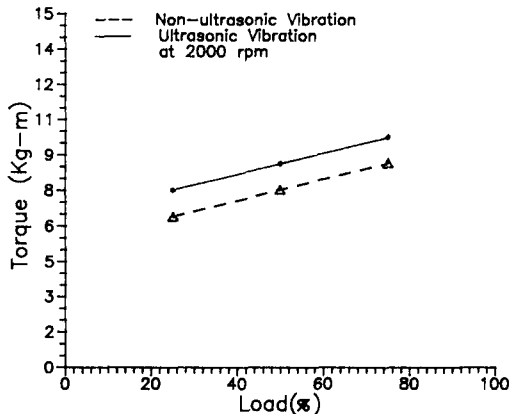


Fig. 8. Relation of Torque vs. load.

효압력과 마찬가지로 저부하에서 증가가 크게 나타나고 있다.

## 결 론

본 연구에서는 연료유의 초음파 처리의 유용성을 규명하기 위해 초음파 진동발생장치를 제작하여 디젤기관에 부착하고, 연소최고압력, 연료소비율, 배기가스, 평균유효압력, 토오르크에 대해 실험한 결과는 다음과 같다.

1. 초음파 진동을 가한 경우 전 실험조건에 걸쳐 최고압력이 상승하였다.
2. 초음파 진동을 가한 경우 연료소비율의 감소효과는 rpm이 낮을수록 크다.
3. 배기가스 발생량은 부하에 따라 증가하였으며, 초음파 진동을 가한 경우 그 감소량은 부하에 따라 거의 일정하였다.
4. 평균유효압력과 토오르크는 부하에 따라 증가하였으며, 초음파 진동을 가한 경우는 저부하에서 증가율이 크게 나타났다.

## 참 고 문 헌

- 1) 류정인(1987) : 초음파를 이용한 흡입 연료 미립화 성능에 관한 연구. 충남대학교 산업기술 연구소 논문집 2(1), 46-54.
- 2) 廣安博之 外2人(1985) : 디젤분사변에 의한 고점도 액체의 미립화. 日本自動車技術學會 論文集(B編) 21(470).
- 3) 廣安博之 外1人(1980) : 디젤분무의 도달거리와 분사각. 日本自動車技術學會誌, 21.
- 4) 千葉近(1985) : 초음파에 의한 액체 미립화 연구. 日本機械學會誌文集, 51(471).
- 5) 생산기술연구원(1991) : 초음파를 이용한 연료개선장치 개발에 관한 연구. 생산기술연구원.
- 6) 千葉近(1974) : 액침 수속형 초음파 진동

- 자에 의한 액체의 미립화. 日本機械學會  
論文集 40(336), 2236-2242.
- 7) 眞田德雄(1984) : 진동식 Cavitation 시험  
에서 생성되는 충격파의 관측. 日本機械  
學會 論文集(B編) 50(458), 2275-2284.
- 8) 內燃機關編輯委員會編 (1973) : 內燃機關.  
大光書林, 서울, 241.
- 9) 內燃機關編輯委員會編(1973) : 內燃機關의  
燃燒. 山海堂, 72.