

<논문> SAE NO. 943768

# 초음파 연료분사장치용 디젤자동차의 성능향상에 관한 연구(II) -분무특성과 기관성능에 대하여-

## A Study on the Performance Improvement of Diesel Automobile Engine with Ultrasonic Fuel Feeding System(II) -On the Spray Characteristics and Engine Performance-

양정규,\* 정진도,\*\* 류정인\*\*\*  
J. K. Yang, J. D. Jung, J. I. Ryu

### ABSTRACT

This is an experimental study on the performance characteristics of Diesel Automobile with ultrasonic fuel feeding system. For this purpose, ultrasonic fuel feeding system was made and atomization characteristics was measured.

Base on this result, carried out engine dynamometer test to investigate the performance characteristics of diesel automobile with ultrasonic fuel feeding system in comparison with conventional diesel fuel injector.

The results are as follows.

- 1) In the spray characteristics test, fuel particle sizes were decreased about 11%~21%.
- 2) In engine dynamometer test,
  - The power was increased about 5%~11%.
  - The thermal efficiency was improved about 6%~11%.
  - The specific fuel consumption was improved about 6%~19%.
  - The smoke concentration was decreased about 11%~50%.

주요기술용어 : Ultrasonic Fuel Feeding System(초음파 연료공급장치), Ultrasonic Energy(초음파에너지), Atomization Characteristics(무화특성), Smoke(매연), BSFC(제동연료소비율)

### 1. 서 론

디젤기관은 가솔린기관에 비하여 저급의 연료를 사용하고 열효율이 20~35%로 높으며 경제적인 면이나 출력 면에서 유리한 조건을 가지고

있으므로 자동차용 기관 및 정치용 동력원으로 사용되고 있다. 그러나 최근에 디젤기관에서 배기유해가스의 배출은 생활 환경에 심각한 영향을 주고 있다. 이에 따라 선진국에서는 1970년 부터 자동차 배출가스에 대한 법적 규제조치가 시행

- \* 정회원, 여수수산대학 기관공학과
- \*\* 정회원, 한전기술연구소
- \*\*\* 정회원, 충남대학교 기계공학과

되어 왔으며 갈수록 배출물의 규제가 엄격해지고 있고, 우리나라에서도 1977년 12월에 환경보존법이 공포되고, 1981년 5월에는 환경관계 법령집이 완성되면서 자동차 배출가스 규제가 시작되었고, 1990년에는 매연의 규제한도를 40%이하로 강화시키고 있는 실정이다.

디젤기관은 연료의 경제성과 우수한 출력성능 때문에 광범위한 분야에서 사용되고 있으므로 CO, HC, particulate(입자상 물질), NO<sub>x</sub> 등의 배출저감을 위한 연구가 시급한 실정이다.<sup>1)</sup>

디젤기관에서 노즐을 통하여 분사된 연료의 분무형태와 무화의 특성은 연소과정에 큰 영향을 미치므로, 공기와 연료의 혼합과정은 연소를 지배하는 중요한 인자가 되며, 결과적으로 기관의 출력과 배출물에 큰 영향을 주게 되므로 이에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다.<sup>2)</sup>

액체연료와 공기의 혼합을 촉진시키는 수단으로서 연료분무의 무화성을 개선하는 방법<sup>3)</sup>과 분무의 관통력 및 연소실내의 분산성을 개선하는 방법,<sup>4)</sup> 또는 Swirl이나 Squish를 이용하여 신기의 도입을 촉진시키는 방법,<sup>5)</sup> 공기가 부실내로 도입될 때 발생하는 강한 와류에 분무를 실어 강제적으로 분무에 회전력을 주어 혼합을 촉진시키는 방법,<sup>6)</sup> 초음파 진동을 이용하는 방법<sup>7,8)</sup> 등이 있다.

본 실험에서는 액침법에 의한 분무 연료입경의 측정, 연료의 화학분석,<sup>9)</sup> 연료의 점도 변화 측정 및 단기동 디젤기관에서의 기관성능시험 등을 통하여 초음파 에너지의 효과를 확인하였다. 이러한 결과를 기초로 초음파 에너지를 가장 효율적으로 받을 수 있는 초음파 연료공급장치를 제작하여 상용 디젤기관에 부착하여 기관성능시험을 통하여 이 장치에 의한 기관의 성능향상 여부를 조사하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 초음파 연료공급장치

Fig.1은 초음파의 공동현상(Cavitation) 작용을 최대한으로 이용할 수 있도록 설계된 초음파 연료공급장치의 개략도이다. 입구⑤로 들어온 연료는

볼트체결형 랑게빈 진동자(Bolted Langevin Type Transducer, BLT) ②에 부착된 계단형 혼(Step Type Horn) ③의 선단과 반사판 ④ 사이에 있는 연료가 정상파(Standing Wave)의 에너지를 받아 활성화된 후 출구 ⑥를 통하여 인젝터로 공급된다.

Fig.2는 혼이 부착된 진동자의 조립도로 혼의 재질은 두랄루민(Al 7017-T651)을 사용하였다. Table 1에 볼트체결형 랑게빈 진동자의 제원을 나타냈다.

### 2.2 분무입경 측정시험

Fig.3은 디젤연료의 분무입경을 채취하기 위한 실험장치의 개략도로서 상부의 직경 12mm의 구멍을 분사노즐을 설치하고 공기 주입구를 통하여 압축공기를 보내면서 압력 게이지로 분사장내의 압력을 설정한다. 분사된 연료입자를 포

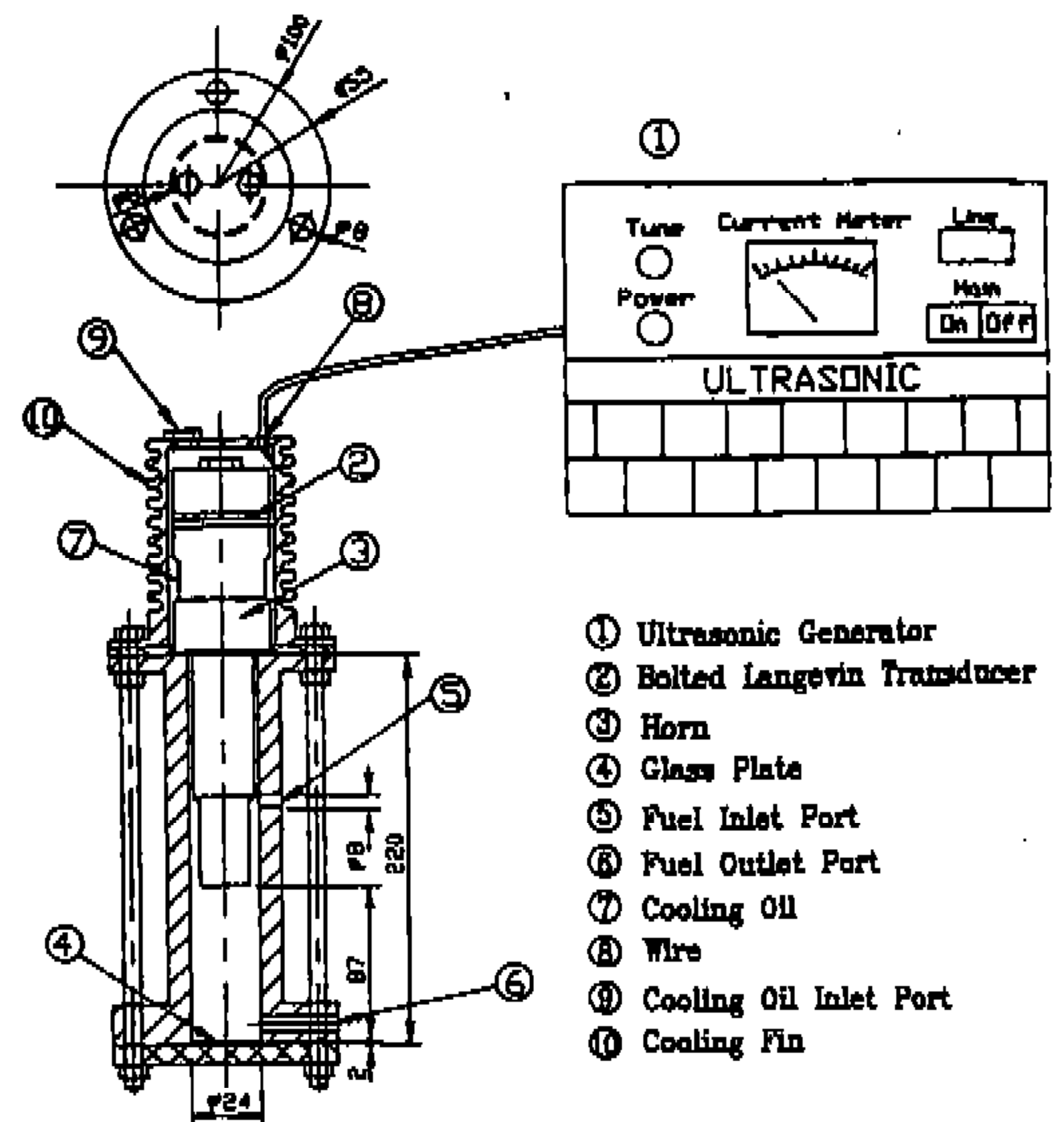


Fig.1 Schematic Diagram of Ultrasonic Fuel Feeding System

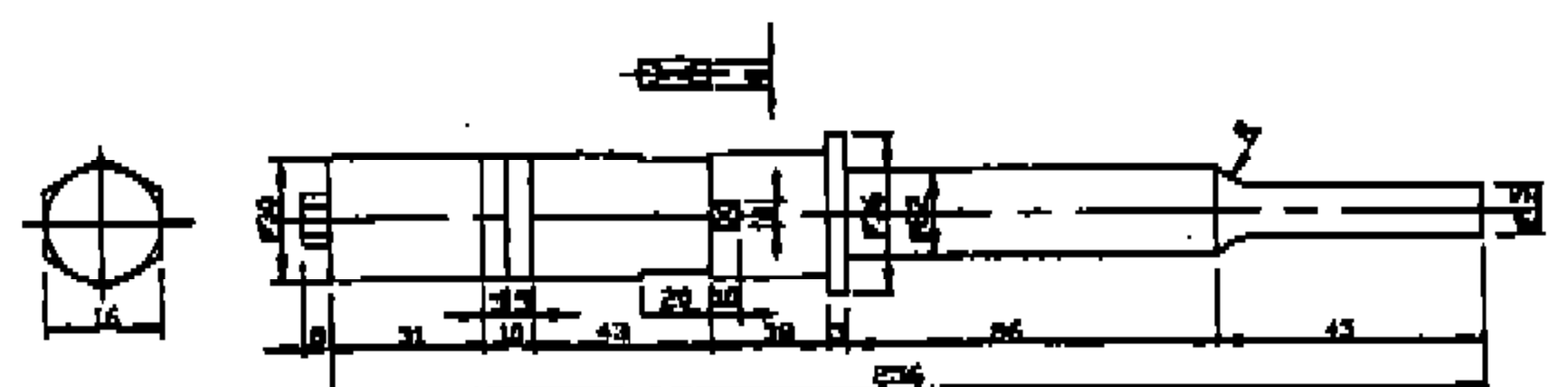


Fig.2 Horn and Transducer Assembly

Table 1 Specification of 28.5 kHz BLT.

Frequency (kHz)	Admittency (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

Table 2 Specification of Test Engine

Content	Specification
Type	Water cooled 4 stroke cycle 4 cylinder diesel Engine
Combustion	Divided combustion chamber
Valve mechanism	Overhead valve
Cylinder dia.× stroke(mm)	92×89
Total displacement(cc)	2,367
Injection open pressure(kg/cm <sup>2</sup> )	135
Max. hp/rpm	80 / 4200
Compression ratio	21.7 : 1

집하는 포집액은 Silicon oil(1000cst)을 사용하고 분사유는 Tellus oil-c10을 사용하였다. 이 포집액으로 상용 디젤 연료인젝터와 초음파 연료공급장치를 통과하여 분사압력이 135kg/cm<sup>2</sup>일때 분사된 연료의 입자를 포집하여 현미경으로 확대(배율 110배) 사진촬영하여 연료입경 분포도와 평균연료입경을 구하였다.

2.3 기관성능 시험

기관성능 실험장치의 개략도는 Fig4와 같고, 기관의 제원은 Table 2에 나타내었다.

와류식 동력계(8)는 흡수마력이 100PS이고, 흡입공기량은 Air Surge Tank에 부착된 경사마노메타(6)에 의해 측정되며, 연료는 연료탱크로부터 유량계와 Timer에 의해 계측되면서 초음파 연료공급장치를 거쳐 기관에 공급된다. 연소실내 압력은 피에조형 압력센서(11)에 의해, 크랭크 각과 TDC는 Encorder에 의해 측정되어 오실로스코프로 관찰되면서 A/D 변환기(14)를 거쳐 PC/AT에 저장된다. 그리고 연소가스 중의 Soots 농도는 Smoke Meter에 의해 측정된다.

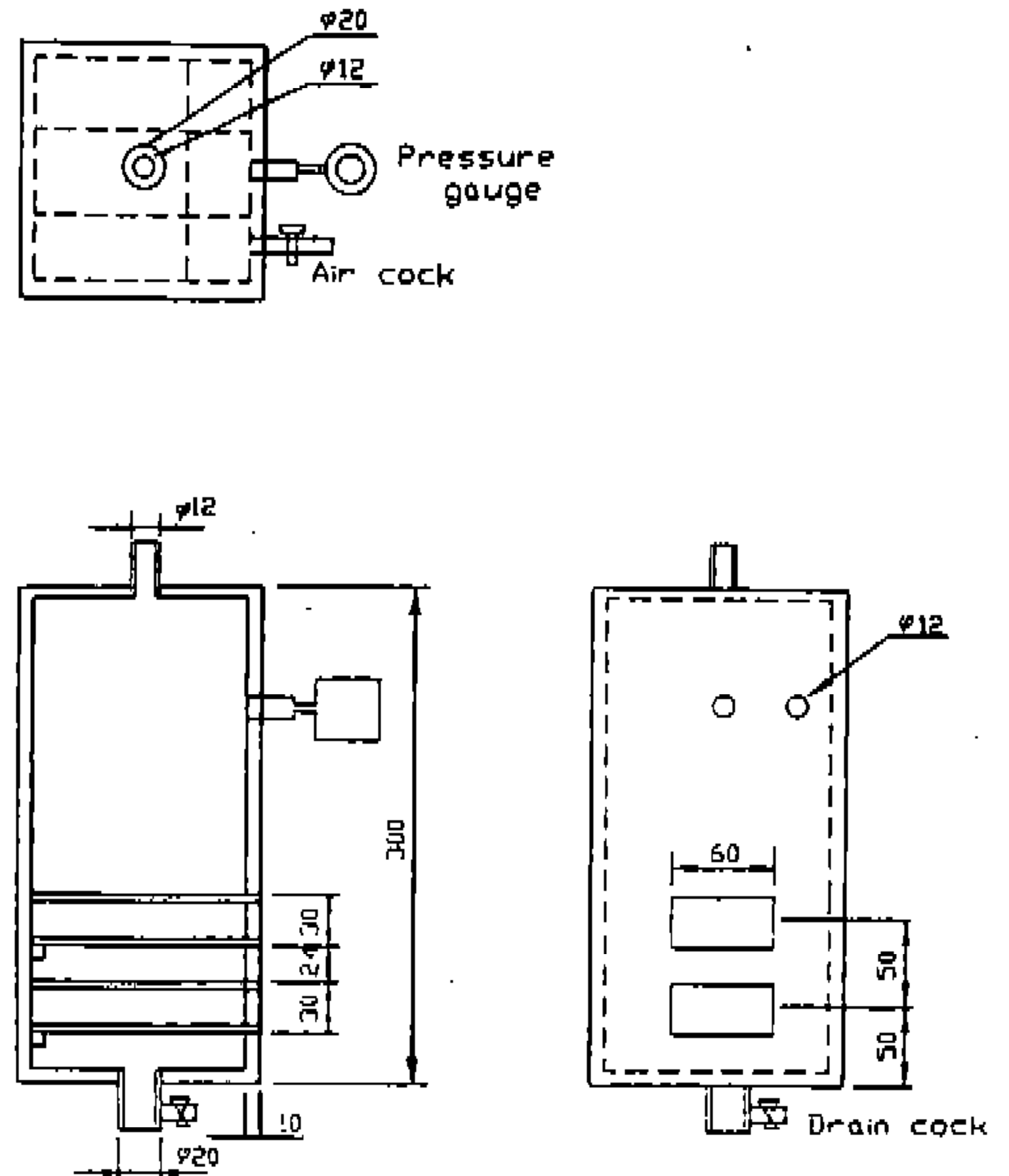


Fig.3 Schematic Diagram of Fuel Particle Size Measuring System



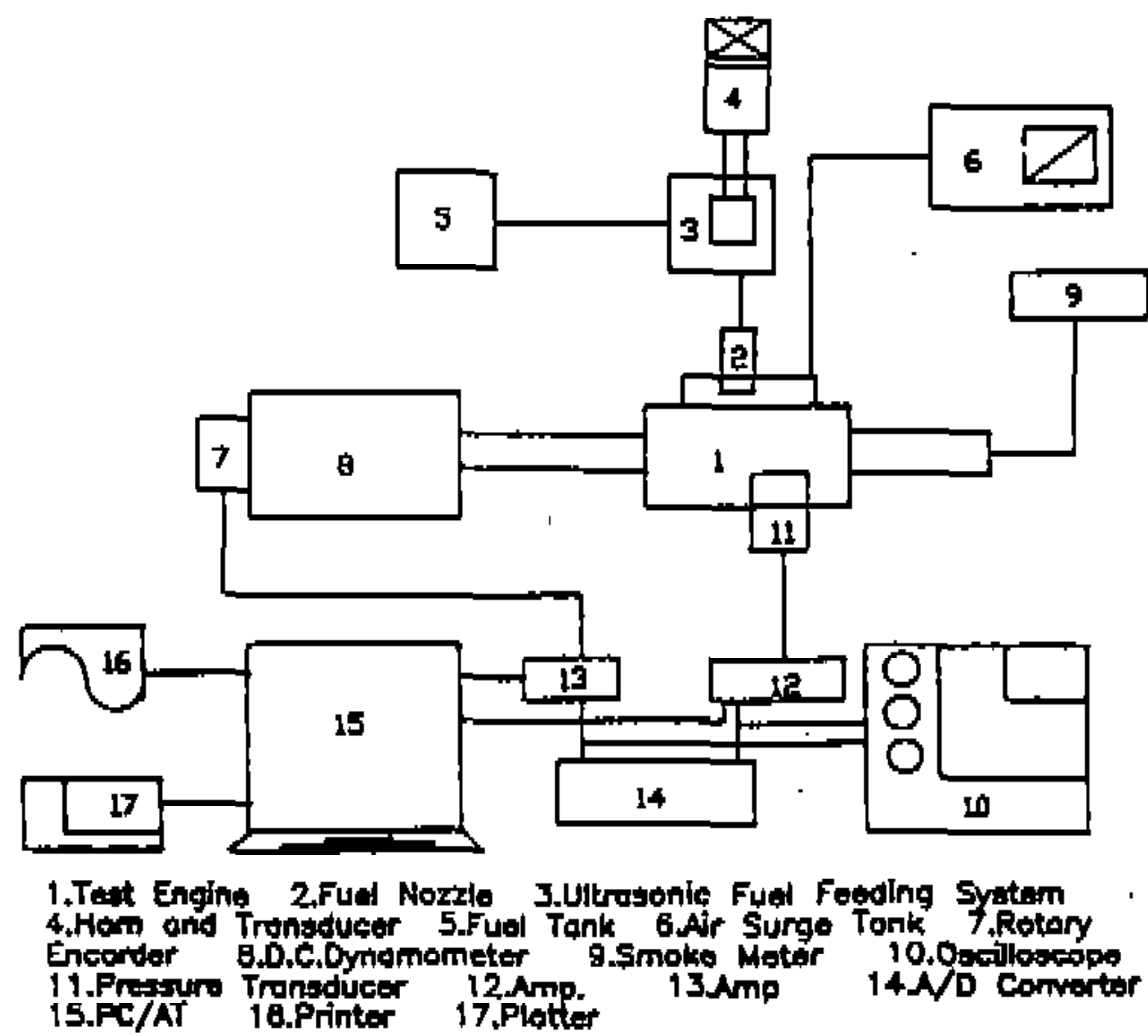


Fig.4 Schematic Diagram of Experimental Apparatus of Test Engine

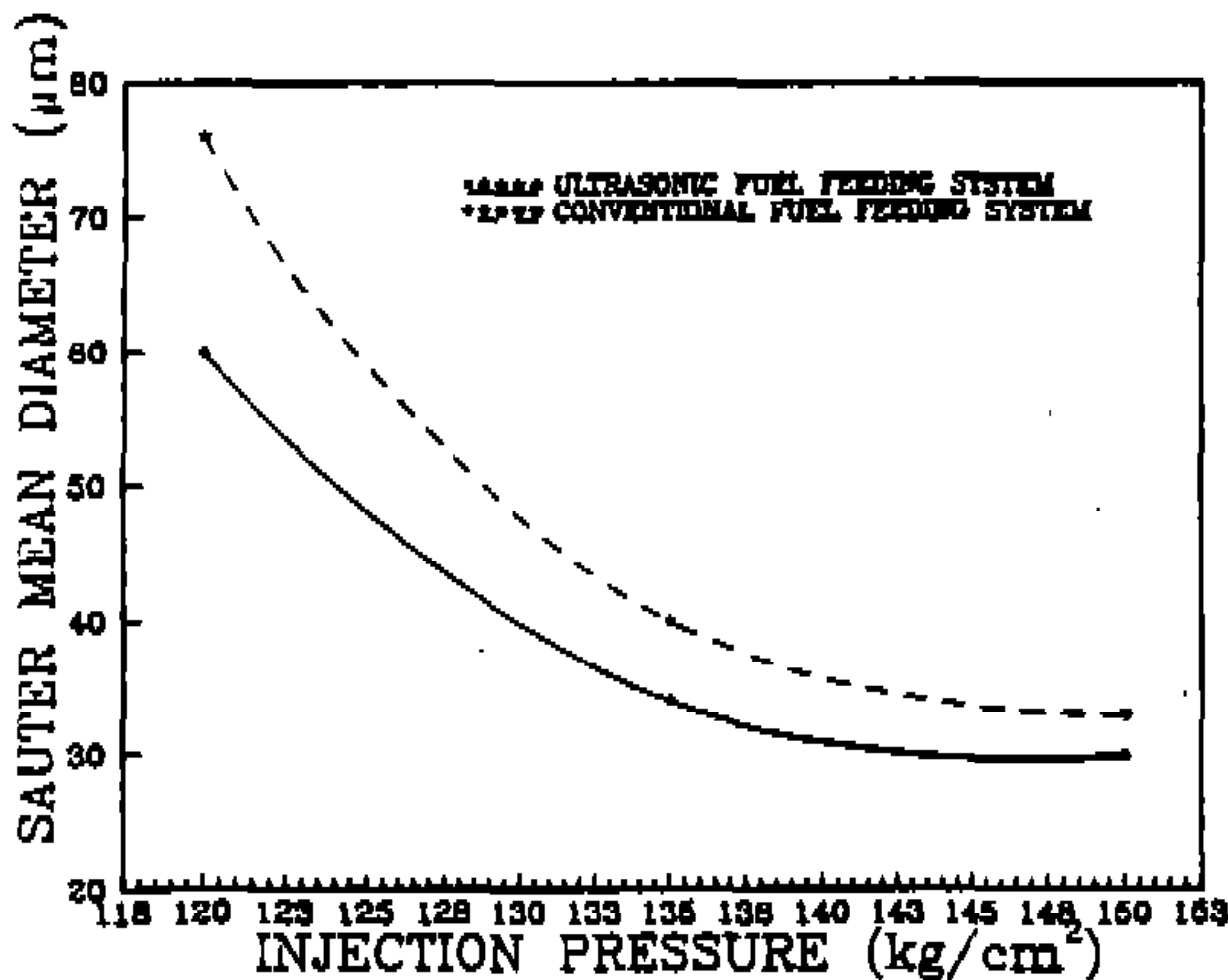


Fig.5 Comparison of Droplet Size

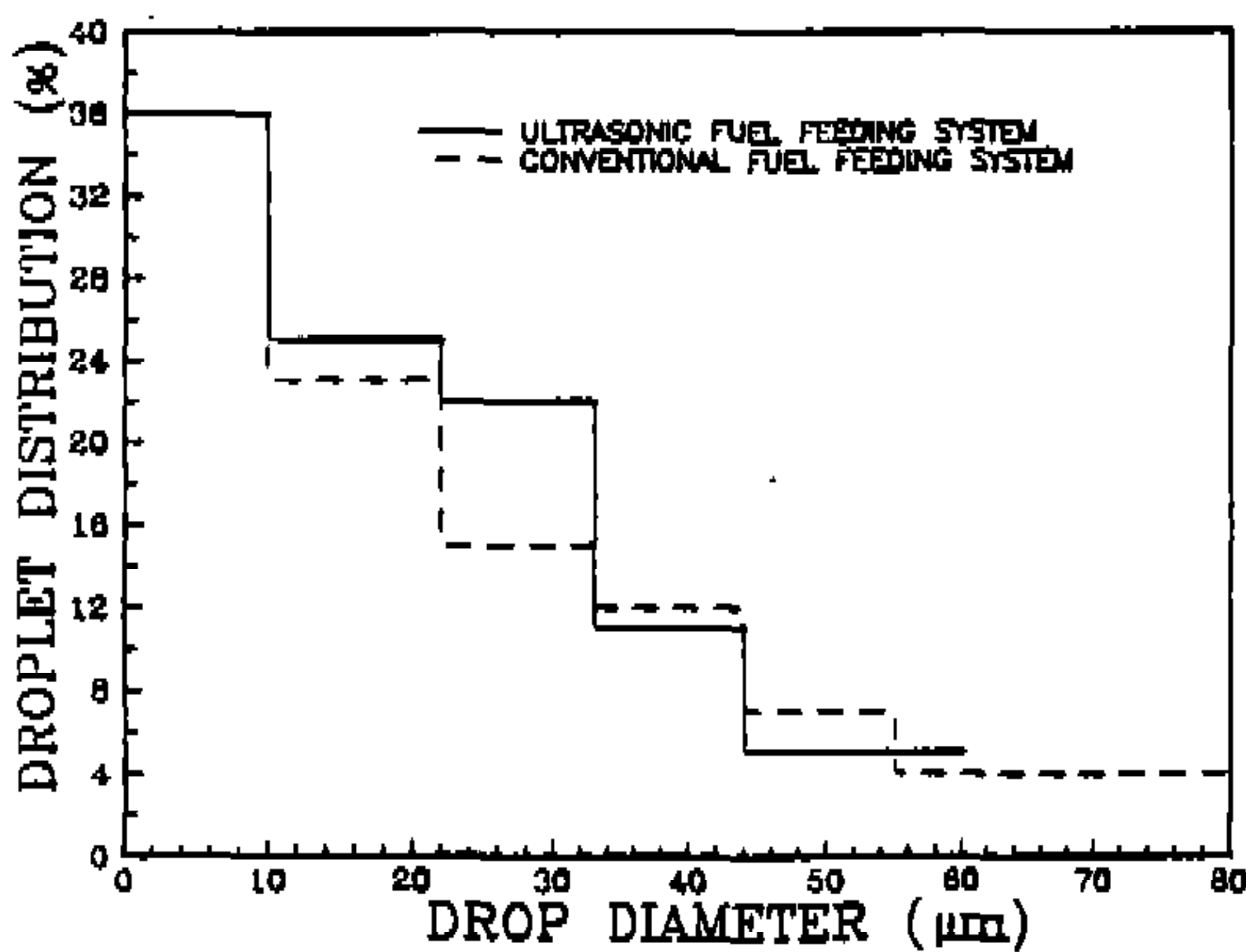


Fig.6 Comparison of Droplet Size Distribution ( $P_1 = 135\text{kg/cm}^2$ )

기관성능시험은 상용 디젤 연료인젝터를 부착한 경우와 초음파 연료공급장치를 부착한 경우에 대하여 각각 디젤기관의 트로틀개도량을 50% OT(open throttle), 70% OT, WOT(wide open throttle)의 각 경우에 대하여 부하에 따라 기관의 회전수를 제어하는 방식으로 기관의 회전수를 1,000rpm에서 1,000rpm씩 증가시켜 4,200rpm까지 변화시킨 경우에 초음파 연료공급장치를 부착한 경우와 상용 디젤 연료인젝터를 사용한 경우로 나누어 실시하였으며 기관출력, 연료소비율, Smoke, 열효율 등을 비교하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 디젤 분무특성

상용 디젤 연료인젝터와 초음파 연료공급장치에 의해 분사된 연료의 분사압력별 입경의 비교와 분사장의 분위기 압력별 입경을 주어진 분사압력에서 분석한 결과를 고찰하였다.

Fig.5는 대기압 상태에서 분사압력을 각각  $120\text{kg/cm}^2$ ,  $135\text{kg/cm}^2$ ,  $150\text{kg/cm}^2$ 로 변화시키며 포집, 측정된 입경을 나타낸다. 분사압력이 고압일수록 상용 디젤 연료인젝터나 초음파 연료분사장치의 두 경우 모두 분사입경이 감소하는 경향이며, 분사압력  $135\text{kg/cm}^2$ 에서 초음파를 사용한 경우의 SMD(sauter mean diameter)가  $34.54\mu\text{m}$ , 상용 디젤 연료인젝터의 SMD는  $40.32\mu\text{m}$ 로 약 14% 정도 감소하고 있다. 그 이유는 연료가 초음파 연료공급장치를 통과하면서 초음파 에너지를 충분히 받아 활성화된 연료가 분사장내에 더 미세하고 고르게 분사되기 때문이라고 생각된다.<sup>10)</sup>

Fig.6은 분사압력  $135\text{kg/cm}^2$ 에서 분사된 연료의 입경을 포집, 측정하여 나타낸 입경분포 그림으로 상용 디젤 연료인젝터의 연료입자는 최대입경  $80\mu\text{m}$  범위의 분포를 보이고 있으나, 초음파 연료공급장치의 경우는 최대입경  $60\mu\text{m}$ 의 범위에 있다. 따라서 초음파 연료공급장치에 의한 연료 분무입자는 상용 디젤 연료인젝터의 경우에 비해 좀 더 균질한 입자군을 갖는 것을 볼 수 있다. 그 이유는 Fig.5에서 전술한 바와 같다.

3.2 기관 성능

Fig.7은 기관회전수에 따른 기관출력과의 관계를 각각의 트로틀밸브 개도량에 대하여 나타낸 것으로 사용 디젤 연료인젝터를 사용한 경우와 초음파 연료공급장치를 사용한 경우에 대하여 도시하였다. 두 경우 모두 일반적인 기관출력 경향을 보이는데, 초음파 연료공급장치의 경우 출력이 다소 증가하는 것을 알 수 있다. 트로틀밸브 개도가 WOT의 경우에는 평균 출력상승이 7.1%, 트로틀밸브 개도가 70%의 경우에는 7.4%, 트로틀밸브 개도가 50%의 경우에는 5.2%로 나타났다. 그 이유는 연료가 초음파 연료공급장치를 통과하면서 초음파 에너지를 충분히 받아 활성화

화된 연료가 연소실내에 더 미세하고 고르게 분사되어 연소가 촉진되기 때문이라고 생각된다.

Fig.8은 기관회전수에 따른 열효율과의 관계를 나타낸 것으로 상용 디젤 연료인젝터를 사용한 경우와 초음파 연료공급장치를 사용한 경우에 각각의 트로틀밸브 개도량에 대하여 도시하였다. 열효율 곡선에서 알 수 있듯이 전 회전수에 걸쳐 초음파 연료공급장치를 사용한 경우가 열효율이 향상되었다. 트로틀밸브 개도가 WOT의 경우 열효율 향상은 약 10.1%, 트로틀밸브 개도가 70%의 경우에는 11.2%, 트로틀밸브 개도가 50%의 경우에는 6.2%로 나타났다. 그 이유는 전술한 기관출력에서의 이유와 같다.

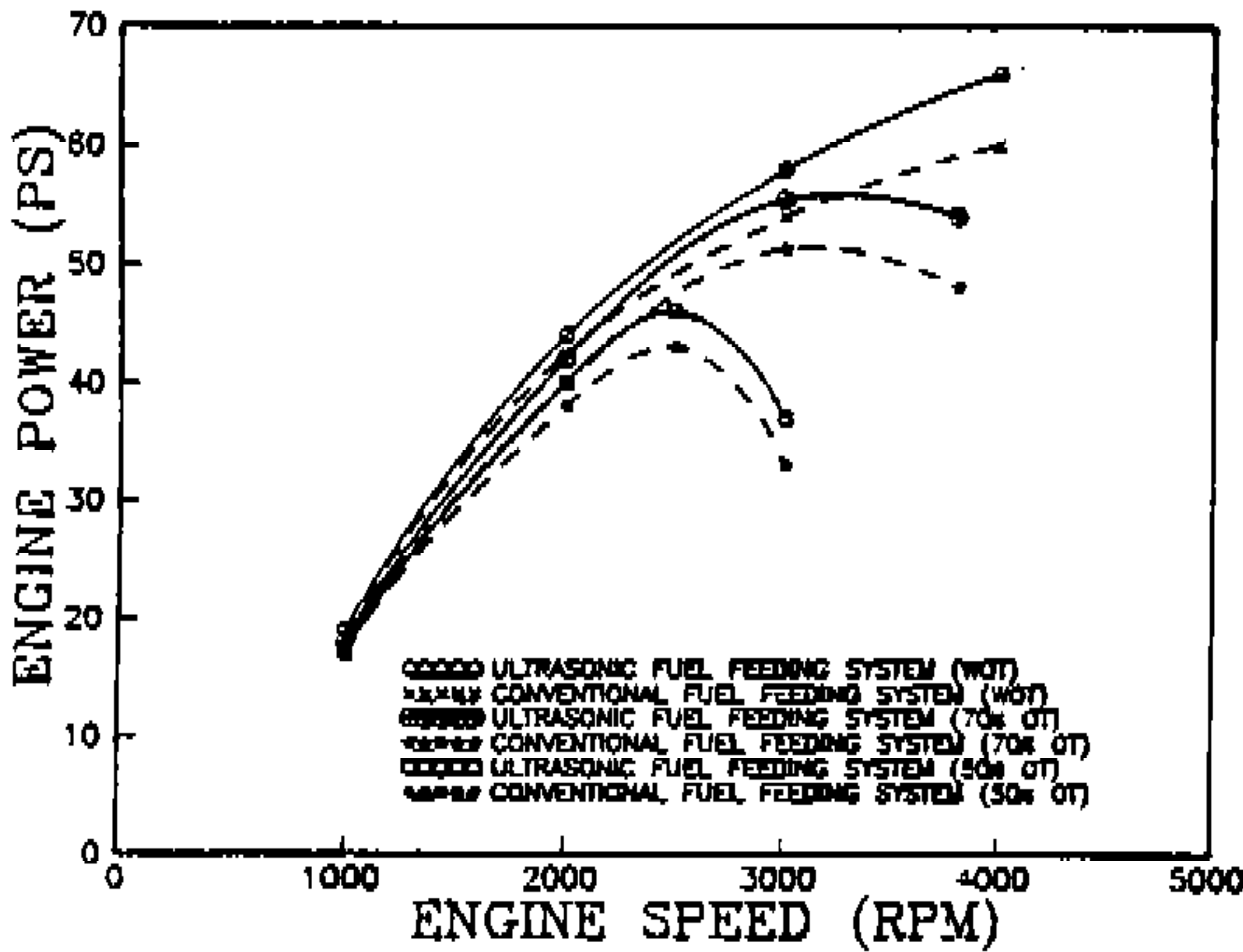


Fig.7 Relation of Engine Power Vs. Engine Speed

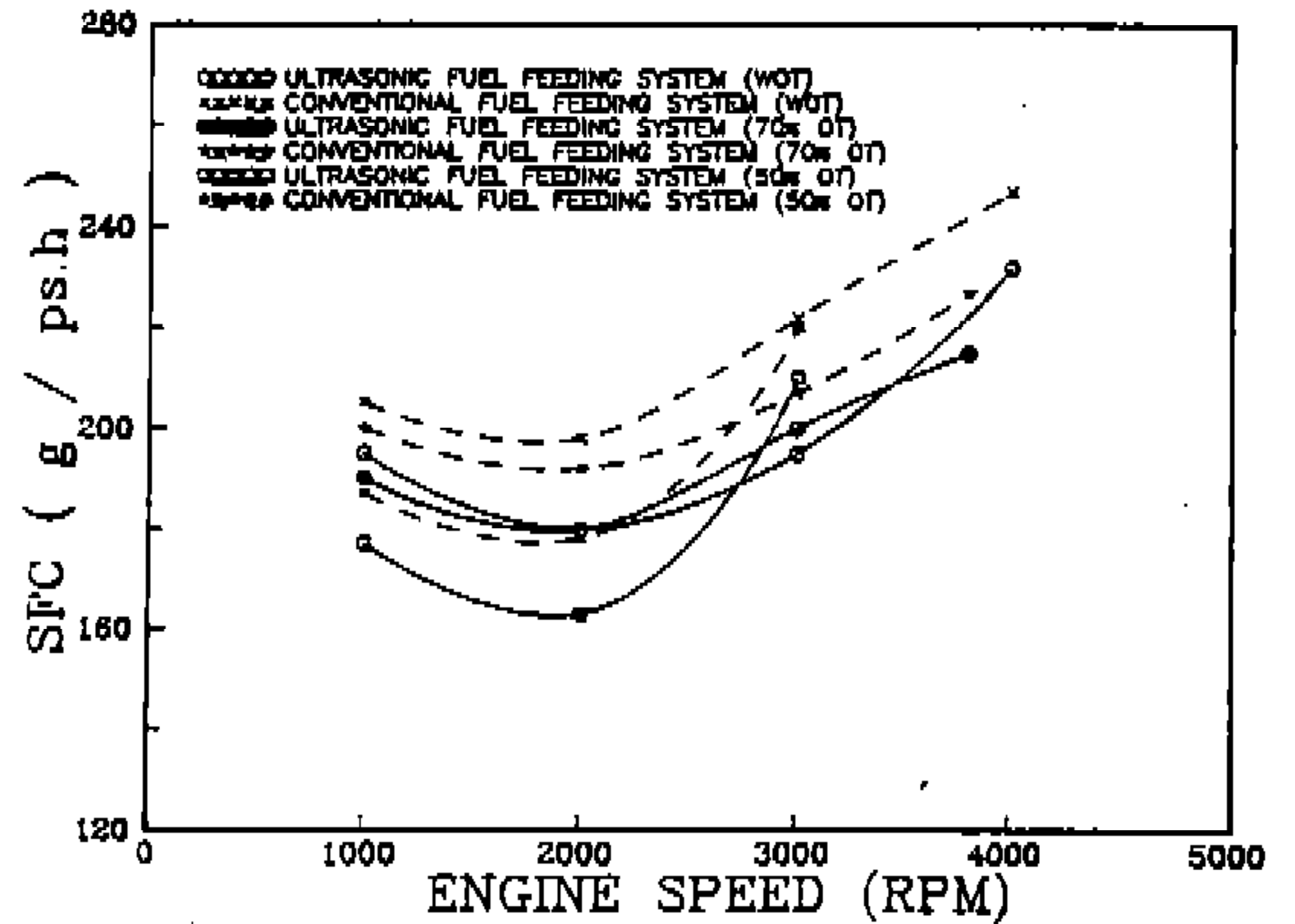


Fig.9 Relation of Specific Fuel Consumption Vs. Engine Speed

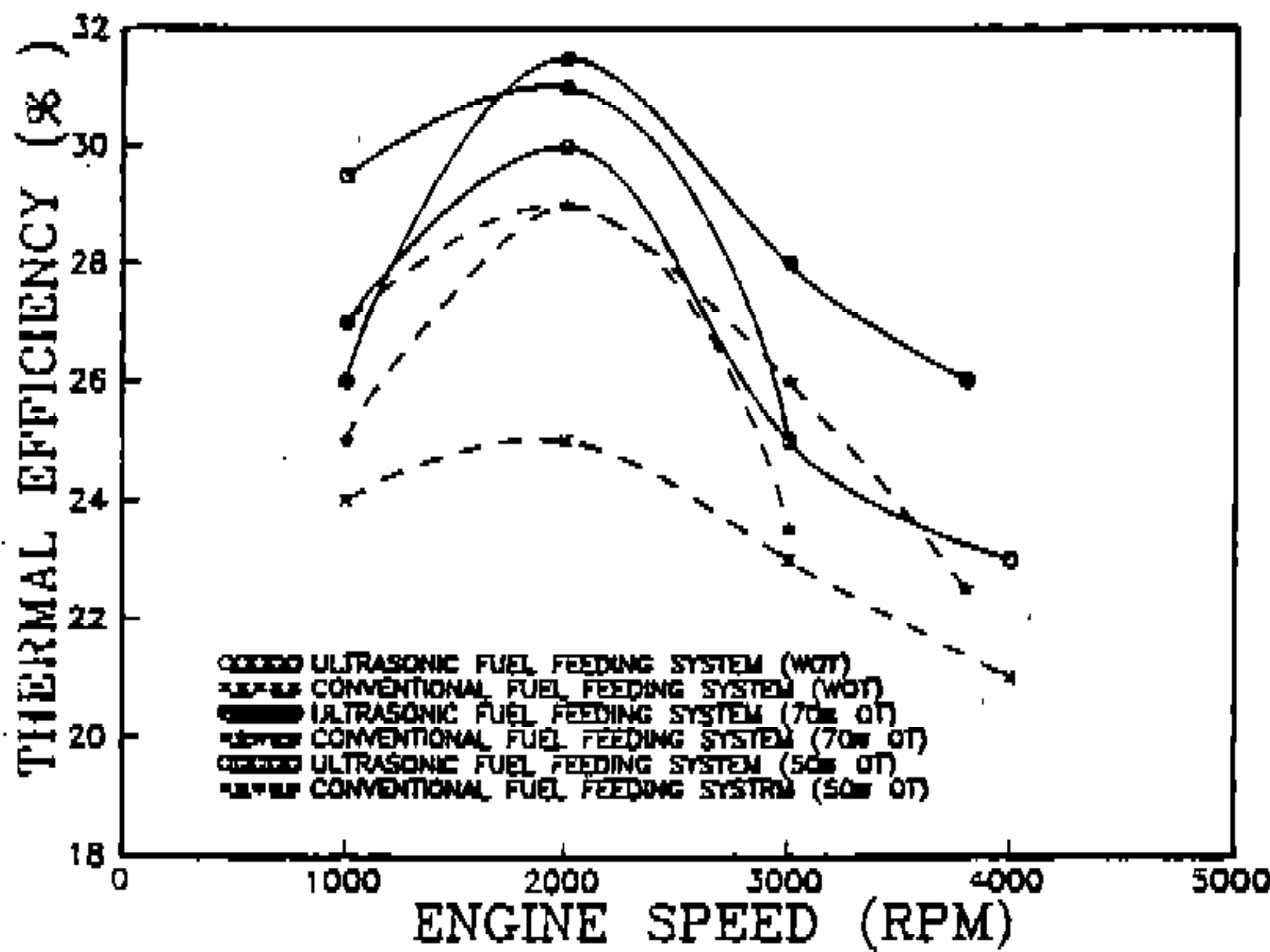


Fig.8 Relation of Thermal Efficiency Vs. Engine Speed

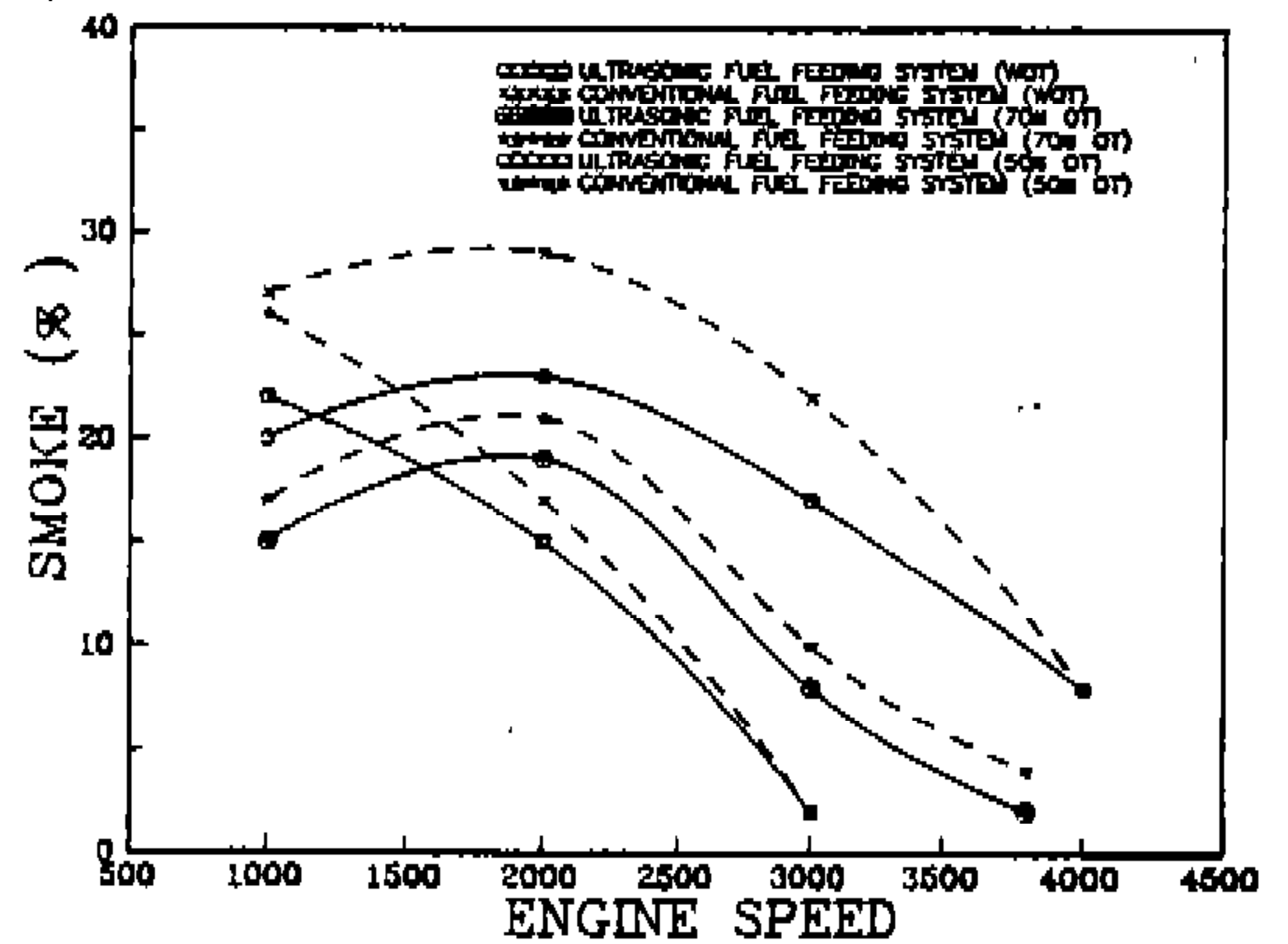


Fig.10 Relation of Smoke Vs. Engine Speed

Fig.9는 기관회전수에 따른 연료소비율과의 관계를 나타낸 것으로 상용 디젤 연료인젝터를 사용한 경우와 초음파 연료공급장치를 사용한 경우에 각각의 트로틀밸브 개도량에 대하여 도시하였다. 연료소비율도 두 경우 모두 기관에서의 일반적인 경향을 보이고 있으나 역시 초음파 연료공급장치의 경우가 전 회전수 영역에 걸쳐 고르게 증가하고 있다. 트로틀밸브 개도가 WOT의 경우에는 평균 7.6%, 트로틀밸브 개도가 70%의 경우에는 9.7%, 트로틀밸브 개도가 50%의 경우에는 5.6%로 나타났다. 그 이유는 분무 개선에 의한 연소촉진 효과로 출력이 증가하였기 때문이다.

### 3.3 매연(Smoke)

Fig.10은 기관회전수에 따른 Smoke와의 관계를 나타낸 것으로 상용 디젤 연료인젝터를 사용한 경우와 초음파 연료공급장치를 사용한 경우에 각각의 트로틀밸브 개도량에 대하여 도시하였다. 이 역시 기관에서의 일반적인 경향을 보이고 있으며, 초음파 연료공급장치를 사용한 경우 매연의 감소는 전술한 이유에 의한 연료의 연소상태 개선에 의한 것으로 사료된다. 트로틀밸브 개도가 WOT의 경우에는 상용 디젤 연료인젝터에 비해 Smoke량이 약 16.4% 정도 감소했고, 트로틀밸브 개도가 70%의 경우에는 33.5%, 트로틀밸브 개도가 50%의 경우에는 10.7% 정도 감소했다.

## 4. 결 론

본 연구는 초음파 연료공급장치에 의한 연료의 미립화 특성을 규명하기 위한 실험적 연구로써, 대기상태에서 분사압력 변화에 따른 총무과 연료공급장치의 평균 분무입경과 입경분포를 측정하였고, 상용 디젤기관에 초음파 연료공급장치를 부착하여 기관 성능시험과 Smoke를 측정한 결과는 다음과 같다.

- 1) 동일 측정장치에서 포집한 분무평균입경은 상용 디젤 연료인젝터의 경우보다 총무과 연료공급장치의 경우가 11~21% 작은 입경을 얻을 수 있다.

- 2) 초음파 연료공급장치에 의한 입경분포는 상용 디젤 연료인젝터에 비해 균질한 입자 균을 갖는다.
- 3) 기관출력은 초음파 연료공급장치를 사용한 경우가 5~11% 증가되었다.
- 4) 열효율은 초음파 연료공급장치를 사용한 경우가 6~11% 향상되었다.
- 5) 연료소비율은 초음파 연료공급장치를 사용한 경우가 6~19% 향상되었다.
- 6) Smoke은 초음파 연료공급장치를 사용한 경우가 11~50% 감소되었다.

## 참 고 문 헌

1. 정명진, 류정인 외 2인 : "디젤기관에 있어서 저질유 연소를 위한 기초 연구", 한국자동차 공학회 춘계학술대회 논문집, SAE No.933869, 1992.
2. 임준효 : "디젤기관의 Emission Control", 자동차기술학회지, 4(1), pp.56~58, 1982.
3. 廣安轉之外 : "ディーゼル 噴射弁による高粘度液體の微粒化", 日本機械學會 論文集(B編) 51卷, 470號, pp.3263-3271, (昭 60~10).
4. 이상용, 김인구 : "분무노즐에서 분사되는 액체막의 분산현상에 관한 실험적 연구", 대한기계학회 논문집, 9(3), pp.387-394, 1985.
5. F.P. Randl et al. : "Turbulent Air Flow in the Combustion Bowl of a D.I. Diesel Engine Performance", SAE.Trans No.790040, 1979.
6. 이국환 : "미립화 액체연료의 선회난류 확산 화염에 관한 실험적 연구", 충남대학교 대학원 석사학위논문, 1989.
7. 류정인 : "내연기관 기술자를 위한 액체의 미립화", 한국자동차공학회지, 11(4), pp.43-47, 1989.
8. 류정인 외 2인 : "초음파 연료 공급장치용 가솔린 자동차의 성능향상에 관한 연구", 충남대학교 산업기술연구소 논문집, 7(2), pp.79-86, 1992.
9. 정명진 외 2인 : "초음파 진동을 이용한 디

젤기관에 관한 연구”, 한국자동차공학회지, 13(6), pp.65-71, 1991.

10. 류정인 설진호 최두석 : “초음파 연료공급장

치용 디젤 자동차의 성능 향상에 관한 연구” (1), 한국자동차공학회 논문집, 2(1), pp.1-8, 1994.