

〈논 문〉 SAE NO. 953745

초음파 연료공급장치용 디젤자동차의 성능 향상에 관한 연구(Ⅲ) (과급 디젤기관에 대하여)

A Study on the Performance of Diesel Automobile Engine with Ultrasonic Fuel Supply System(Ⅲ)
(On the case of Turbo-charging Diesel Engine)

최 두 석,* 이 홍 영,** 류 정 인***
D. S. Choi, H. Y. Lee, J. I. Ryu

ABSTRACT

To improve the performance of diesel automobile engine, we designed new fuel supply system named ultrasonic fuel supply system. The performance test of diesel automobile engine carried out to examine possibility of practical use of ultrasonic fuel supply system to test engine. This paper deals with the comparative results of performance test of diesel automobile engine in terms of smoke, HC, SFC, PS, thermal, efficiency, torque.

Following are obtained result.

- 1) In naturally aspirated diesel engine, when we use ultrasonic fuel supply system output, fuel consumptions are improved and exhaust gas reduced significantly.
- 2) In turbo-charging diesel engine both using of ultrasonic fuel supply system and using of conventional injector, engine performance and exhaust gas temperature are almost constant.
- 3) In turbo-charging diesel engine, when we use ultrasonic fuel supply system, NOx are emitted approximately 3.5% higher than total average.
- 4) In turbo-charging diesel engine, when we use ultrasonic fuel supply system, smoke and CO are 17% and 11.8% improved respectively.

주요기술용어 : ultrasonic fuel supply system(초음파 연료공급장치), ultrasonic energy(초음파 에너지), pre-chamber diesel engine(예연소실 디젤기관), swirl chamber diesel engine(와류실 디젤기관), naturally aspirated engine(무과급기관)

* 정회원, 천안공업전문대학 자동차과

** 정회원, 원자력연구소

*** 정회원, 충남대학교 기계공학과

1. 서 론

상용 자동차에 탑재되어 사용되고 있는 디젤기관은 대형 트럭, 버스용 기관이 대부분이지만 소음, 진동은 물론 유해가스의 배출농도가 커서 대기 오염원으로서 사회적 문제로 대두되어 왔다. 상용차용으로 배기규제의 일체화와 단계적 강화가 예상되고 있다. 이러한 디젤기관의 제반 문제점은 압축착화 방식에 따른 고압축비의 채용과 연소실 내의 연소특성 등에 크게 좌우된다. 고압축비에 의한 연소실 내의 온도상승은 질소산화물의 생성을 유발시키고 연료의 연소특성 중 착화 지연은 부분의 물리적 요인과 화학적 요인에 따라 결정되는데, 이 중 물리적 요인이 더욱 지배적이며, 이것에 의한 지연기간은 화학적 요인에 의한 것보다 2배나 되어 기관출력, 노킹, 연소소음 및 미연탄화수소물의 발생 등에 크게 영향을 미친다.^{1),2)} 일반적으로 디젤기관에서는 출력향상과 배기유해가스 농도의 저감은 서로 상반된 특성을 갖고 있어 어려운 점이 많다. 결국 고출력, 저유해 배기가스 배출이라는 기관에 대한 요구는 많은 문제점을 갖고 있다고 하겠다. 따라서 디젤기관의 문제점을 해결하고 성능을 향상시키기 위해서는 기관의 구조적 요인의 개선 뿐만 아니라 연소과정을 명확히 파악하여 연소특성을 개선시키는 것이 무엇보다도 중요한 일이며, 실린더 내의 연소개선을 목적으로 한 연구가 광범위하게 진행되어 왔다. 즉 보조 연료 분사에 의한 방법³⁾, 흡기관 내의 물분사에 의한 방법⁴⁾, 배기가스 재순환에 의한 방법⁵⁾, 초음파 진동을 기관에 적용시키려는 연구^{6),7)}가 시도되고 있다.

본 연구는 1985년 류정인 등이 가솔린 기관에 초음파 진동을 응용한 연구를 수행한 것을 기초로 해서 디젤기관에 초음파 진동을 이용하여 기관성능 향상을 하고자 실제 자동차에 장착할 수 있는 타당성을 검토하였다. 즉 실제 디젤기관의 상용 연료인젝터 대신 연료에 초음파 에너지를 주어 노즐을 통하여 분사될 때 그 특성을 개선시킬 수 있는 초음파 연료공급장치를 개발하였다. 초음파 에너지는 크게 분산(dispersion)작용과 공동현상(cavitation)작용의 메커니즘을 통하여

액체연료에 전달되는데, 이러한 초음파 에너지가 액체연료에 미치는 영향을 밝히고자 일련의 실험이 본 연구실에서 수행되었다.

액침법에 의한 분무연료 입경의 측정, 연료의 화학분석, 점도변화 측정⁸⁾등을 통하여 초음파 에너지의 효과를 확인하였다. 이러한 결과를 기초로 하여 초음파 에너지를 가장 효율적으로 받을 수 있는 초음파 연료공급장치를 제작한 후 단기통 디젤기관의 성능시험⁹⁾을 하여 기관성능 향상을 확인하였고, 또한 새시 동력계에서 디젤 자동차의 성능시험을 하였으며, 부가적으로 고속도로 주행시험¹⁰⁾을 하여 초음파 에너지에 의한 디젤자동차의 성능향상을 확인하였다.

본 연구는 과급 디젤기관에서 초음파 에너지의 효과를 확인하기 위해 초음파 연료공급장치를 시험기관에 부착하여 이 장치에 의한 기관성능 향상 여부를 조사하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 초음파 연료공급장치

Fig.1은 초음파의 공동현상(cavitation)작용을 최대한 이용할 수 있도록 설계된 초음파 연료

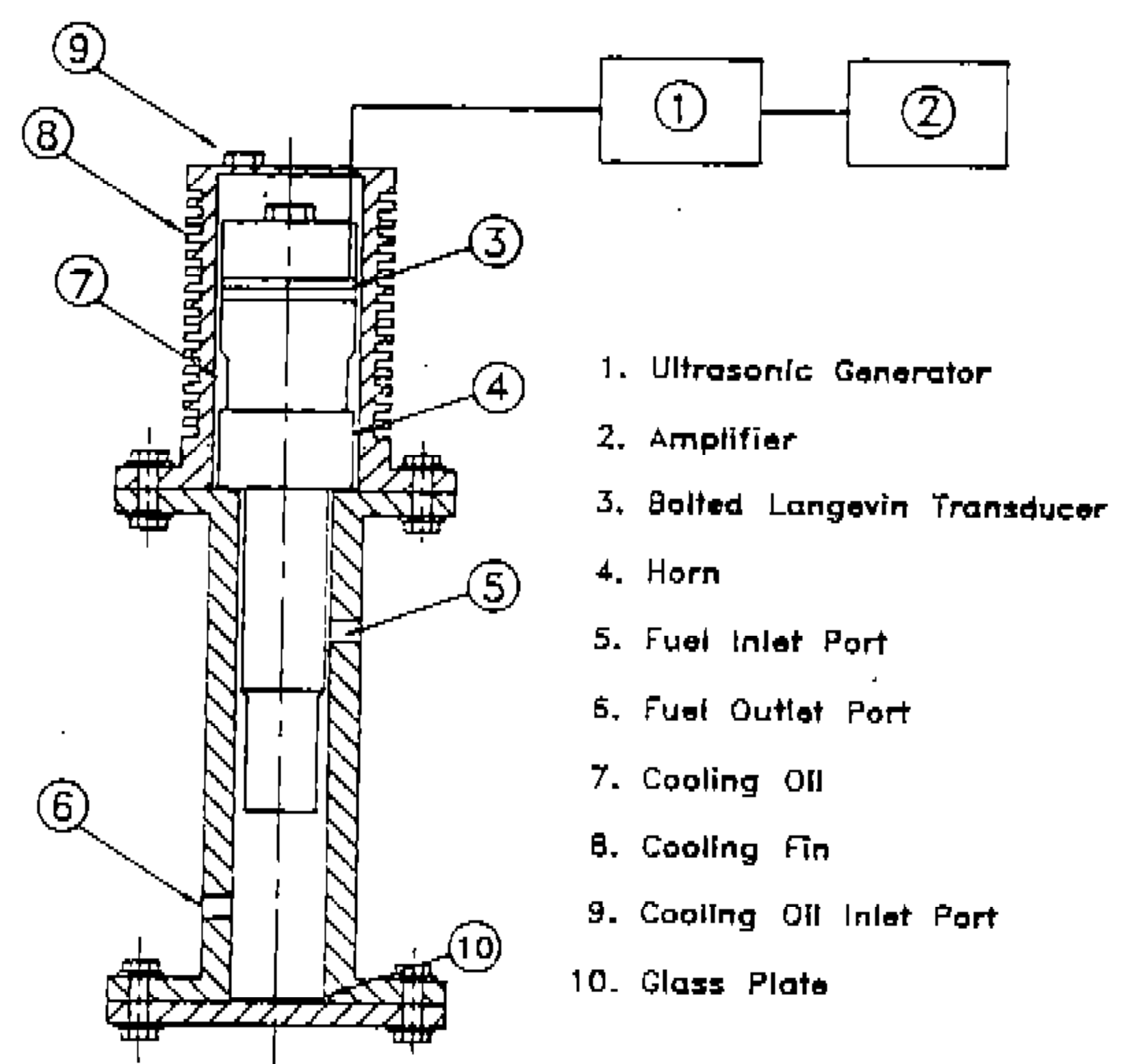


Fig.1 Schematic Diagram of Ultrasonic Fuel Supply System

공급장치의 개략도이다. 입구⑤로 들어온 연료는 볼트체결형 랑게빈 진동자(Bolted Langevin Type Transducer, BLT)②에 부착된 계단형 혼(step type horn)③의 선단과 반사판④ 사이에 있는 연료가 정상파(standing wave) 에너지를 받아 활성화된 후 출구⑥을 통하여 인젝터로 공급된다.

Fig.2는 혼이 부착된 진동자의 조립도로 혼의 재질은 두랄루민(Al 7017-T651)을 사용하였고, Table 1은 볼트체결형 랑게빈 진동자의 제원을 나타낸다.

2.2 기관성능시험

기관성능시험은 4기통 4사이클 와류연소실식

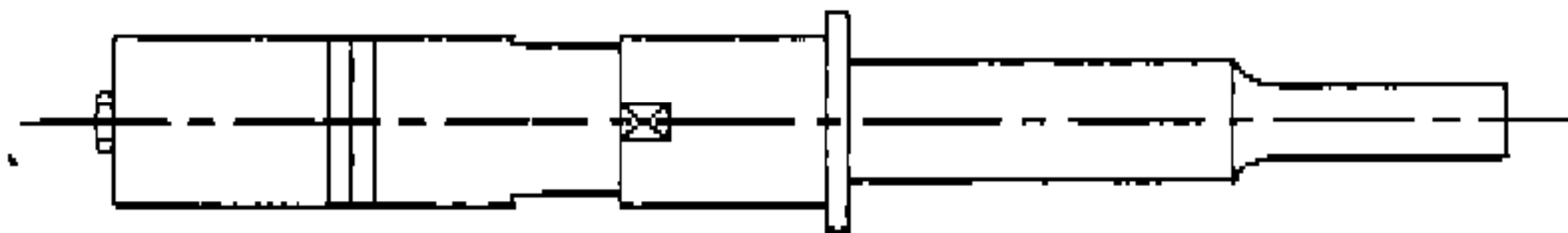


Fig.2 Horn and Transducer Assembly

디젤기관(이하 과급 디젤기관이라 한다)과 예비연소실식 디젤기관(이하 무과급 디젤기관이라 한다)으로, 기관 동력계는 110KW 와류 동력계를 사용하였고, 배기가스는 가스분석기(Horiba 사 9100H)를 사용하였으며, 연소가스 중의 soots 농도는 ZEXEL SMK METER를 사용하여 측정하였다. 초음파 연료공급장치의 개략도는 Fig.3과 같으며, 초음파 연료공급장치는 연료탱크와 연료펌프 사이에 설치되고, 초음파 연료공급장치를 통과하면서 초음파 에너지를 받은 연료가 연소실에 분사하도록 되어 있다. 기관의 제원은 Table 2에 나타내었다.

기관성능시험은 전부하에서 기관회전수를 1,000rpm에서 500rpm씩 증가시켜 4,000rpm까지 변화시킨 경우에 대하여 초음파 연료공급장치를 부착한 경우와 상용 연료인젝터를 사용한 경우로 나누어 실시하여 기관출력, 연료소비율, 매연, 일산화탄소(CO), 질소산화물(NO_x), 제동평균 유효압력, 열효율 등을 비교하였다.

Table 1 Specification of 28.5kHz 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	3,000±15%	60	9.6	φ29.5, 5	2

Table 2 Specification of Engine

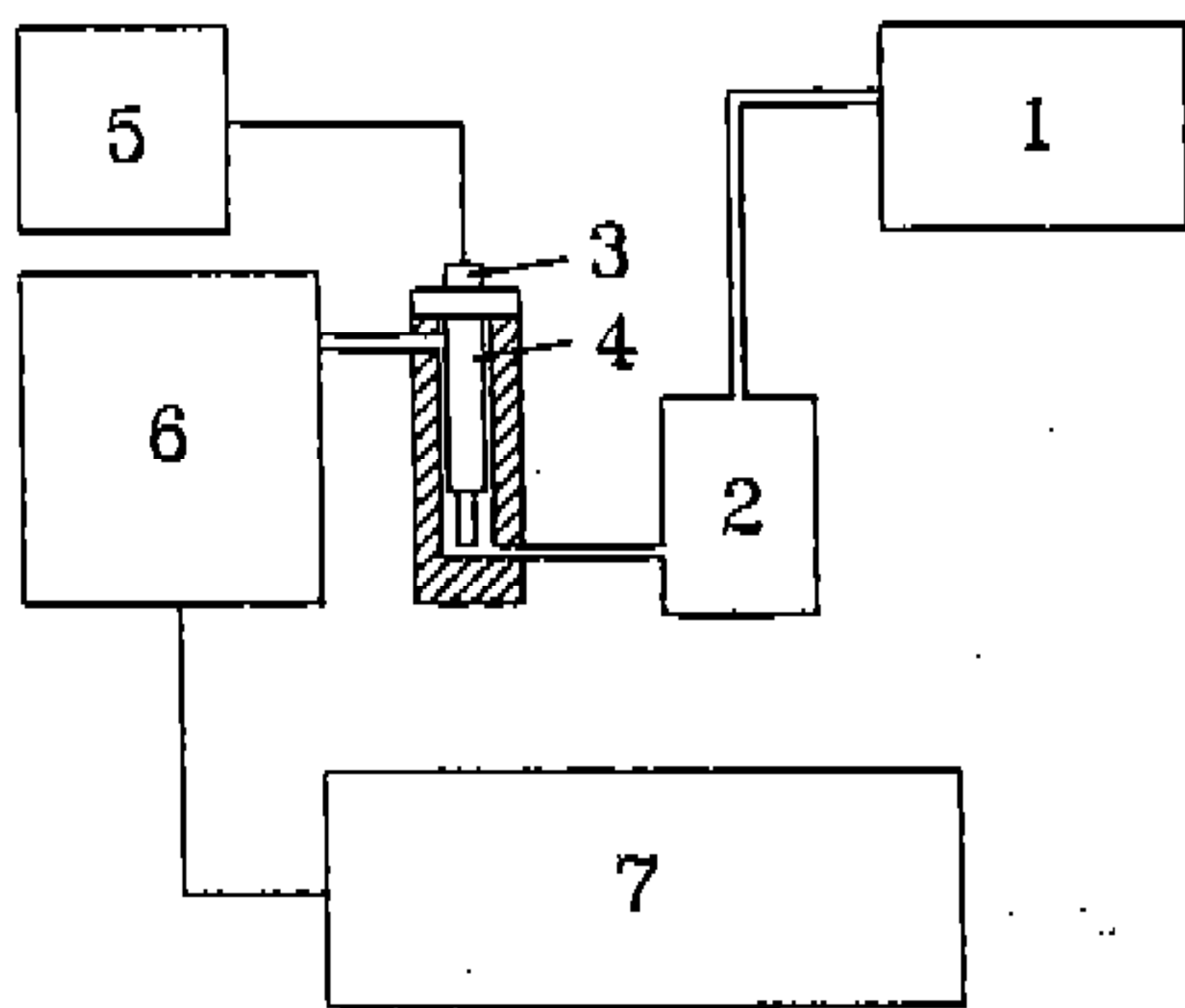
Contents	Specification(A)	Specification(B)
Type	Water cooled 4 stroke cycle 4 cylinder diesel Engine	Water cooled 4 stroke cycle 4 cylinder diesel Engine
Combustion chamber type	IDI pre-combustion chamber	IDI swirl combustion chamber
Cylinder dia. × stroke	92(mm) × 89(mm)	91.5(mm) × 95(mm)
Total displacement	2,367(cc)	2,476(cc)
Injection open pressure	135(kg/cm ²)	130(kg/cm ²)
Max. hp/rpm	80/4,200(hp/rpm)	85/4,200(hp/rpm)
Compression ration	21.7 : 1	21 : 1
Intake type	Naturally aspirated	Turbo-charger

3. 결과 및 고찰

3.1 기관성능

기관의 제원이 비슷한 예연소실 무과급 디젤기관과 와류실 과급 디젤기관에 초음파 연료공급장치를 부착한 경우와 상용 연료인젝터의 경우에 대하여 기관출력, 열효율, 연료소비율, 토오크, 제동평균 유효압력(BMEP) 등을 분석하였다.

Fig.4는 기관회전수에 따른 기관출력과의 관



- 1. Fuel Tank
- 2. Fuel Filter
- 3. Transducer
- 4. Horn
- 5. Ultrasonic Generator
- 6. Test Engine
- 7. Control Unit

Fig.3 Schematic Diagram of Experimental Apparatus.

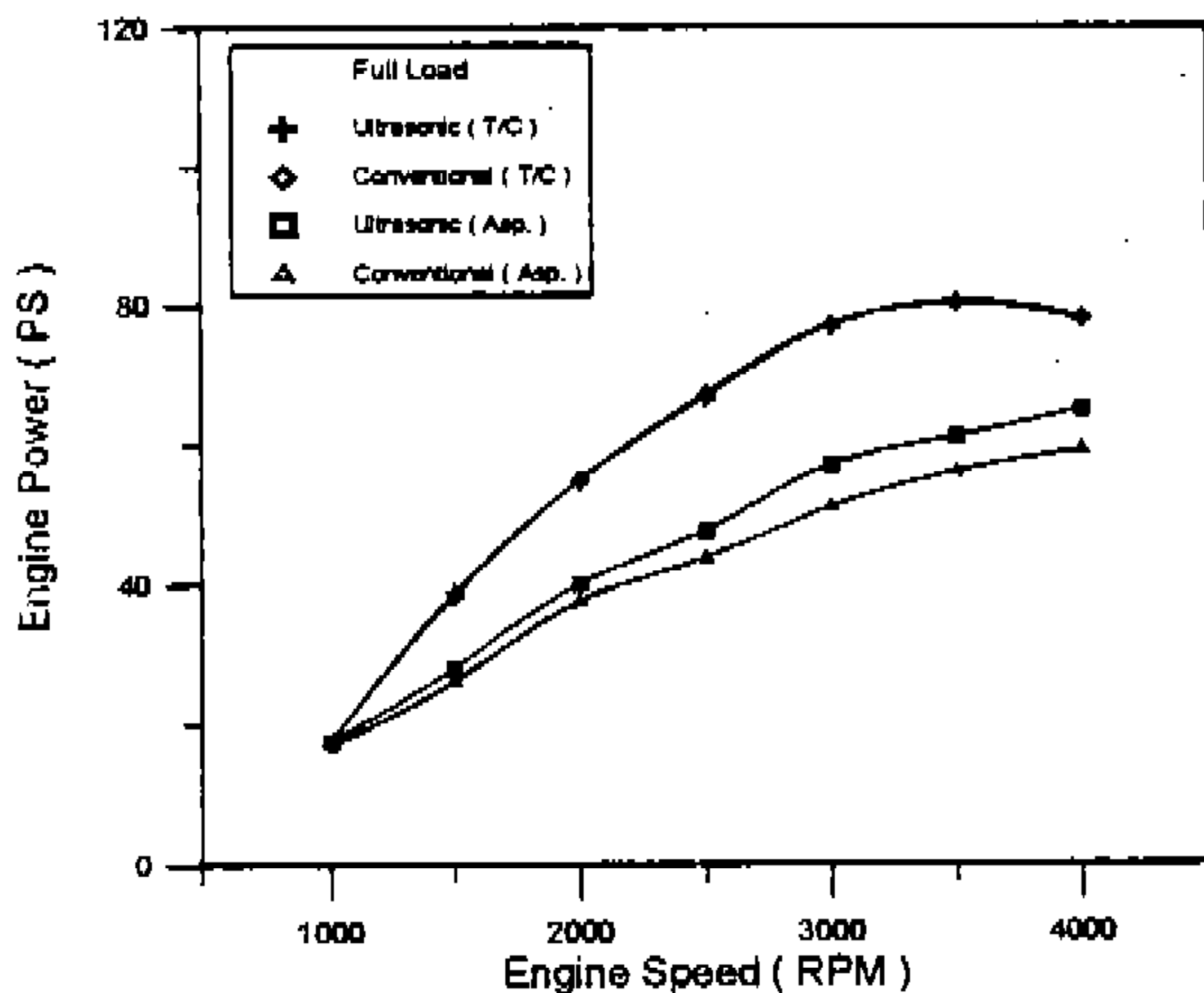


Fig.4 Relation of Engine Power VS. Engine Speed.

계를 나타낸 것으로 상용 연료인젝터와 초음파 연료공급장치를 부착한 경우의 4/4 부하에 대하여 도시하였다. 무과급 디젤기관에서는 두 경우 모두 일반적인 기관 출력 경향을 보이는데, 초음파 연료공급장치를 부착한 경우 출력이 크게 증가한다. 그 이유는 초음파 연료공급장치를 통과하면서 초음파 에너지를 충분히 받아 활성화된 연료가 연소실 내에 더 미세하고 고르게 분사되어 연소가 촉진되기 때문이다. 과급 디젤기관에서는 회전수가 증가함에 따라서 출력은 증가하고 과급 디젤기관이 무과급 디젤기관보다 출력이 크게 증가하고 있는 것은 과급을 하므로서 평균유효압력이 크게 향상되었기 때문이다. 과급 디젤기관에서 초음파 연료공급장치가 출력에 거의 영향을 미치지 않은 것은 과급작용에 의한 충전효율 향상과 연료가 와류를 일으키면서 연소하므로 연료의 확산은 물론 연료의 미세화가 촉진되어 초음파 에너지의 효과가 상대적으로 줄어들었기 때문이라고 사료된다.

Fig.5는 기관회전수에 따른 제동열효율과의 관계를 나타낸 것으로 상용 연료인젝터와 초음파 연료공급장치를 부착한 경우의 4/4부하에 대하여 나타낸 것이다. 무과급 디젤기관과 과급 디젤기관의 경우 열효율은 같은 경향을 보인다. 과급 디젤기관에서 두 경우 열효율은 거의 같지만 2,500rpm 이하에서는 초음파 연료공급장치를 부착

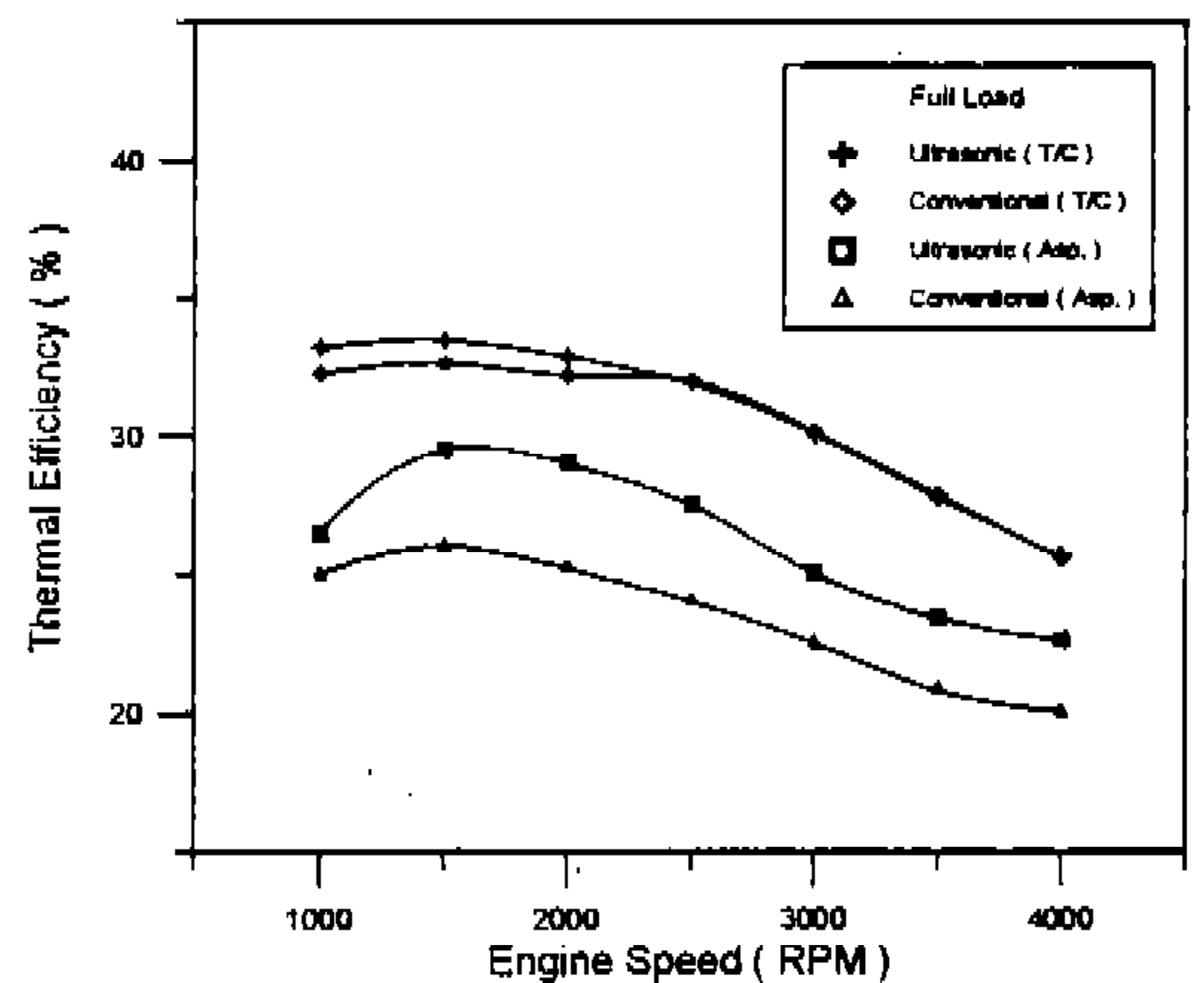


Fig.5 Relation of Thermal Efficiency VS. Engine Speed

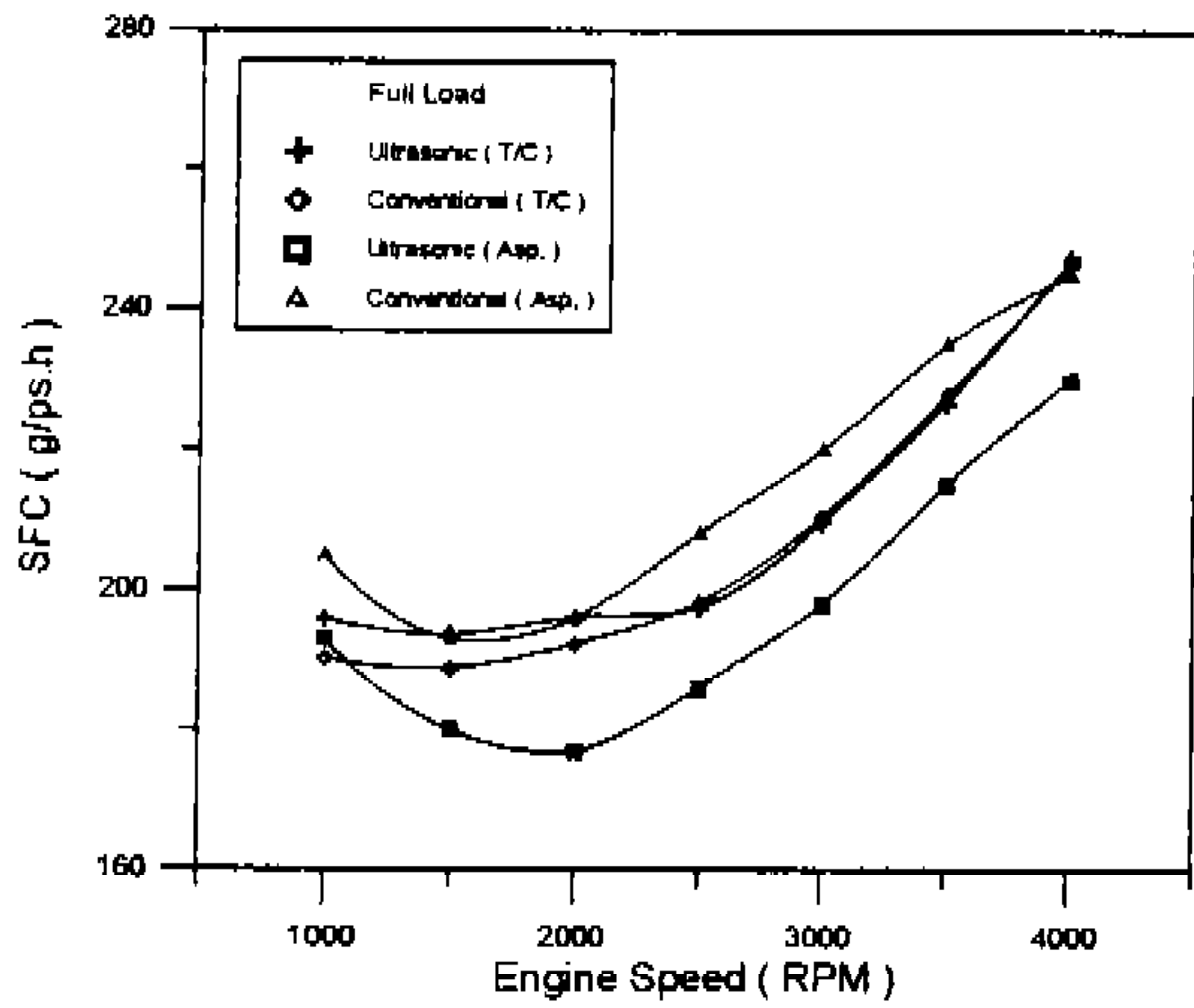


Fig.6 Relation of Specific Fuel Consumption VS. Engine Speed.

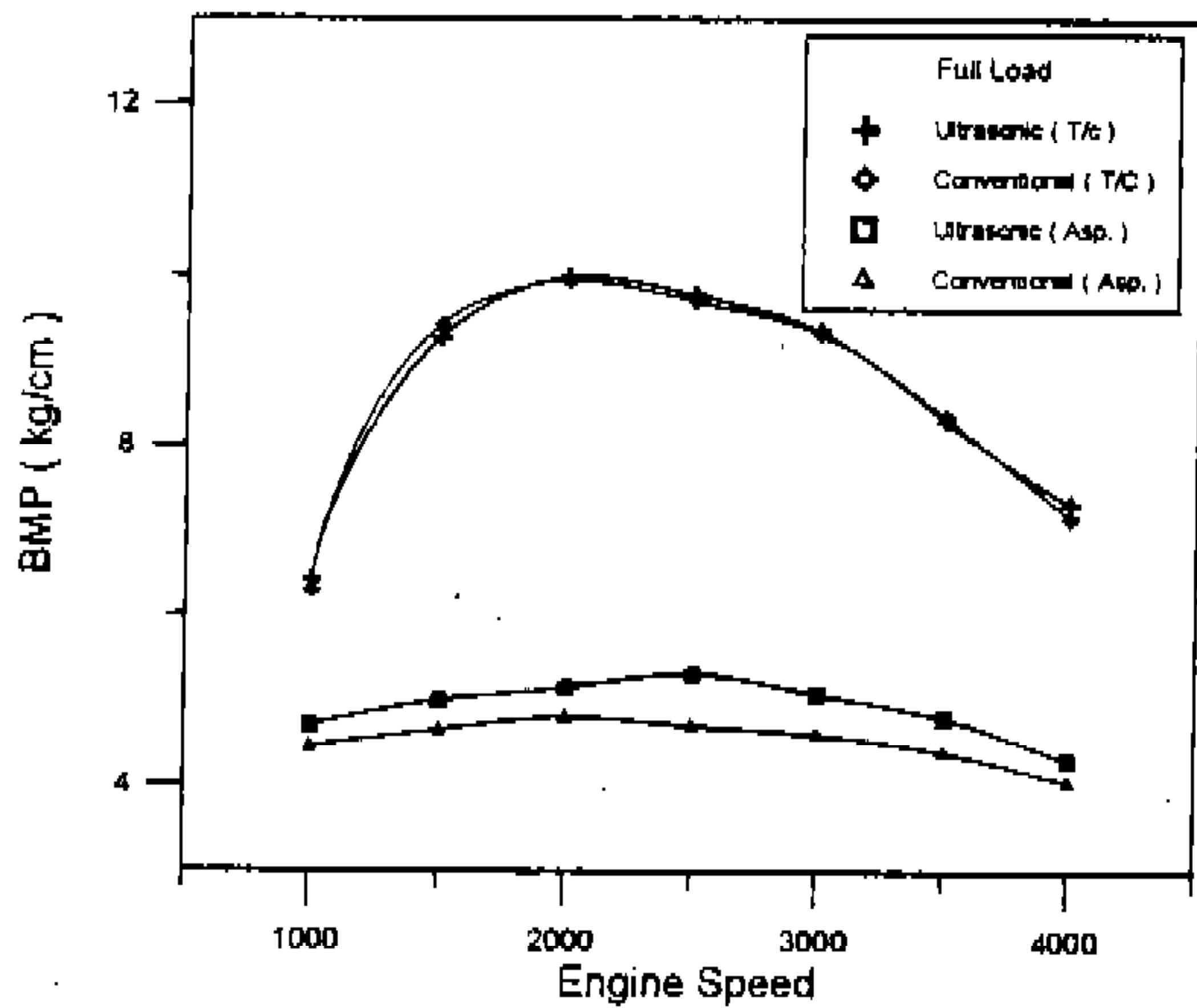


Fig.7 Relation of BMEP VS. Engine Speed.

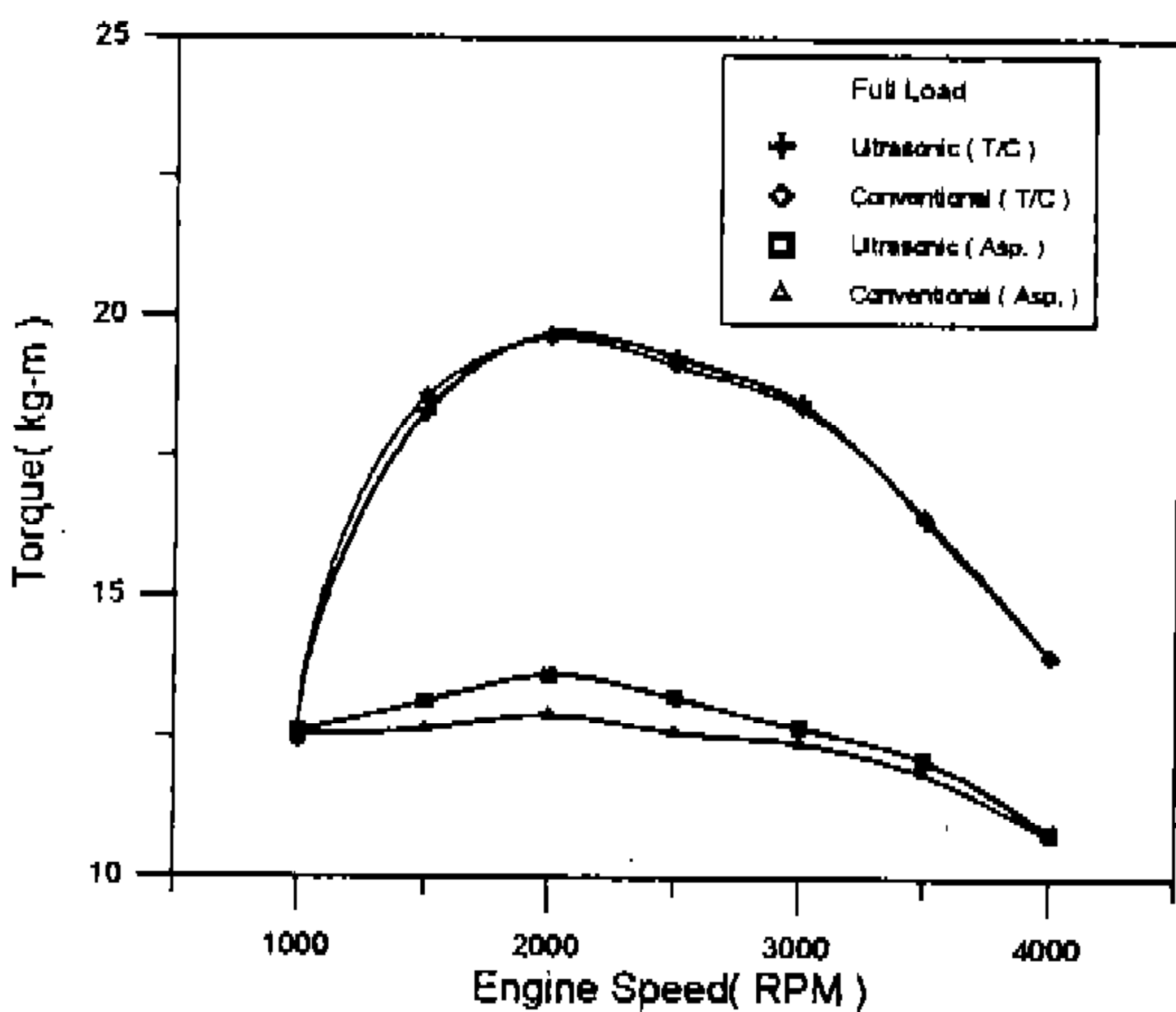


Fig.8 Relation of Torque VS. Engine Speed.

한 경우가 열효율이 높다. 그 이유는 2,500rpm 이하에서는 와류에 의한 연료의 혼합, 미세화와 연소의 확산보다도 초음파 에너지의 영향이 크게 작용하는 것으로 사료된다. 무과급 디젤기관에서는 초음파 연료공급장치를 부착한 경우가 열효율이 상승하였다. 그 이유는 Fig.4에서 전술한 바와 같다.

Fig.6은 4/4부하에서 기관회전수에 따른 연료소비율과의 관계를 나타낸 것으로 무과급 디젤기관에서는 초음파 연료공급장치를 사용한 경우가 상용 인젝터에 비하여 연료소비율이 향상되었다. 그 이유는 분무 개선에 의한 연소촉진 효과로 출력력이 증가하였기 때문이다. 과급 디젤기관에서는 2,500rpm 이하에서 상용 인젝터에 비하여 초음파 연료공급장치를 사용한 경우가 연료소비율이 향상되나 2,500rpm 이상에서는 거의 같다. 그 이유는 Fig.5에서 전술한 바와 같다.

Fig.7은 4/4 부하에서 기관회전수에 따른 제동평균 유효압력(BMEP)을 나타낸 것으로 무과급 디젤기관에서 초음파 연료공급장치를 부착한 경우는 회전수에 관계없이 고르게 증가하고 있다. 이것은 무과급 디젤기관에서는 연료가 초음파 연료공급장치를 지나면서 초음파 에너지를 받아 연료의 무화가 촉진되기 때문이라고 사료된다. 반면에 과급 디젤기관에서는 거의 변화가 없는 이유는 Fig.4에서 전술한 바와 같고, 무과급 디젤기관에 비해서 BMEP가 현저하게 큰 것은 과급작용의 영향이라고 사료된다.

Fig.8은 4/4부하에서 기관회전수에 따른 토크의 변화를 나타낸 것으로 무과급 디젤기관이나 과급 디젤기관에서 2,000rpm 근처에서 최대 토크가 나타나고, 무과급디젤기관에서는 초음파 연료공급장치를 사용한 경우 토크가 향상되었다. 그러나, 과급 디젤기관에서는 무과급 디젤기관보다 토크가 크게 향상되고, 초음파 연료공급장치가 토크에 거의 영향을 미치지 않은 것은 Fig.4에 전술한 바와 같다.

3.2 매연(Smoke)

Fig.9는 4/4 부하에서 기관회전수에 따른 매연의 발생량을 나타낸 것으로 무과급 디젤기관이

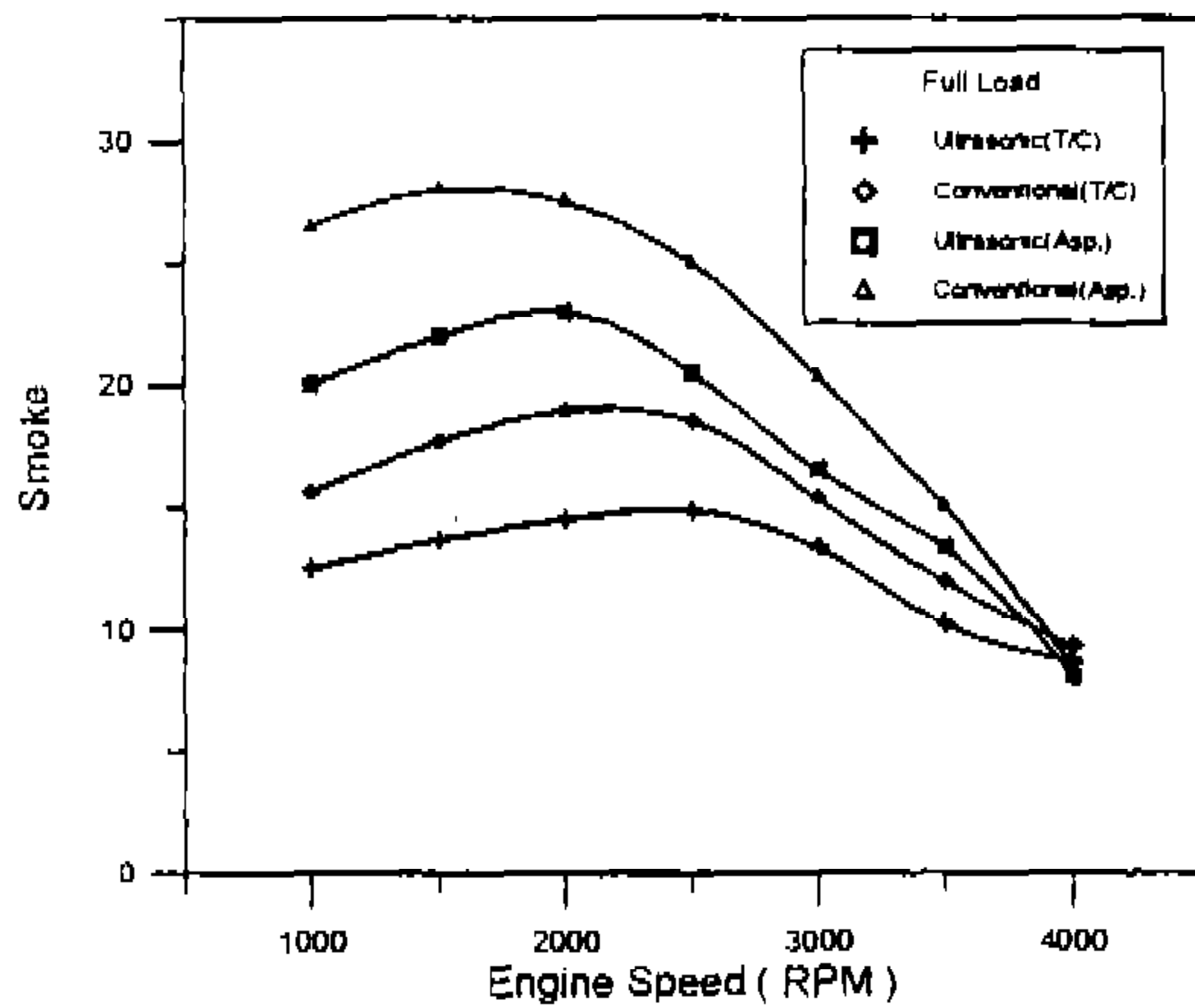


Fig.9 Relation of smoke VS. Engine Speed.

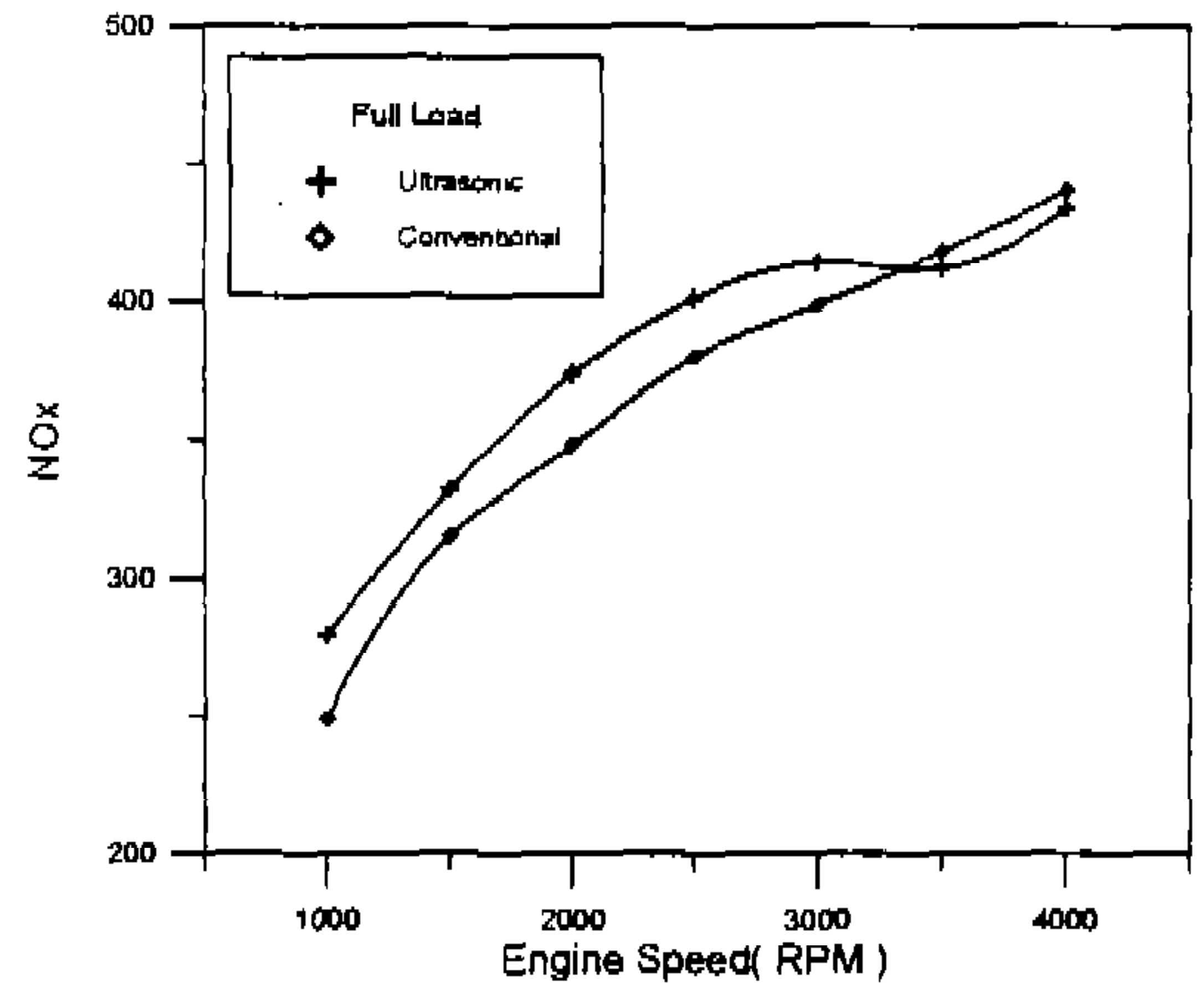


Fig.11 Relation of NOx VS. Engine Speed.

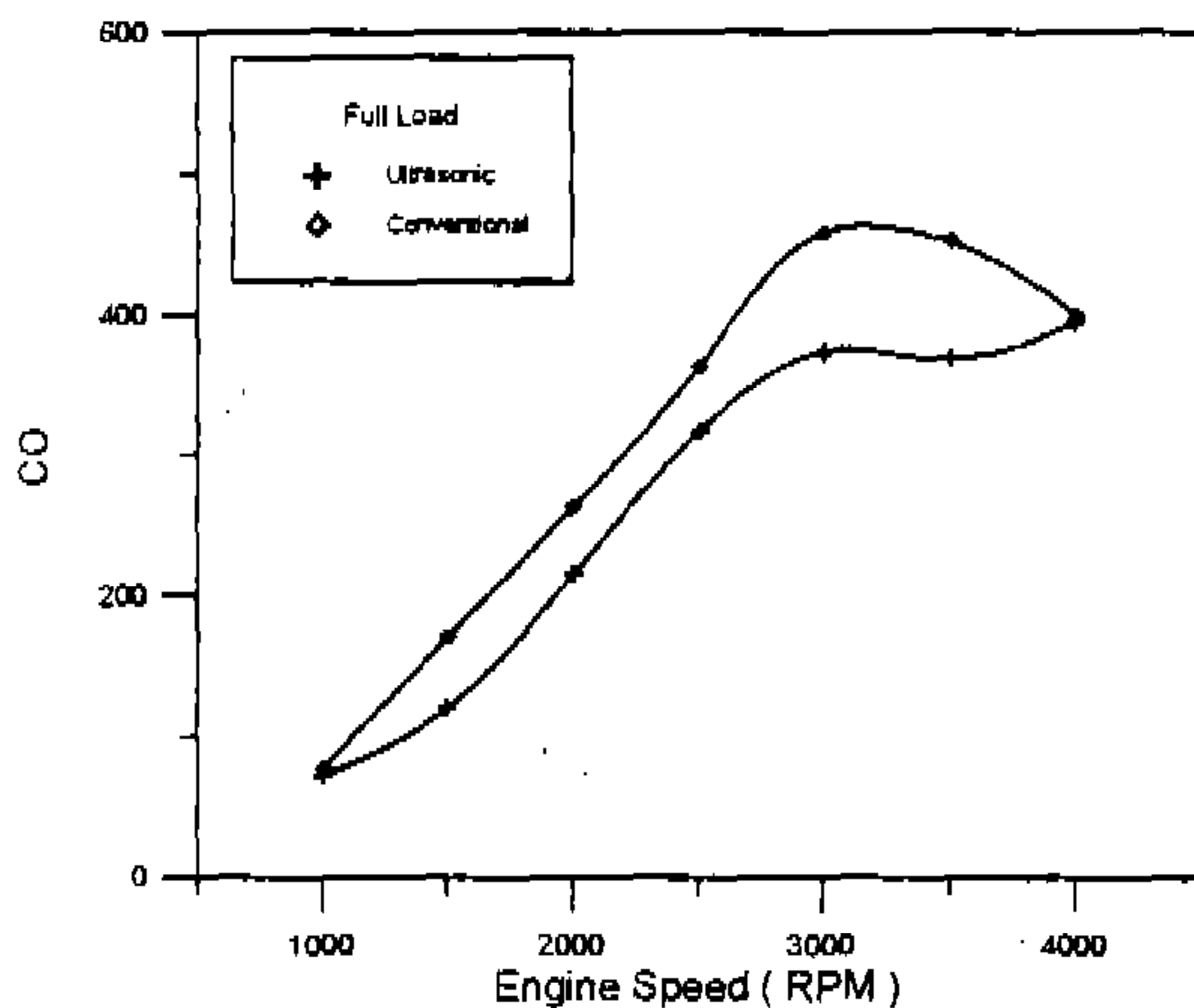


Fig.10 Relation of CO VS. Engine Speed.

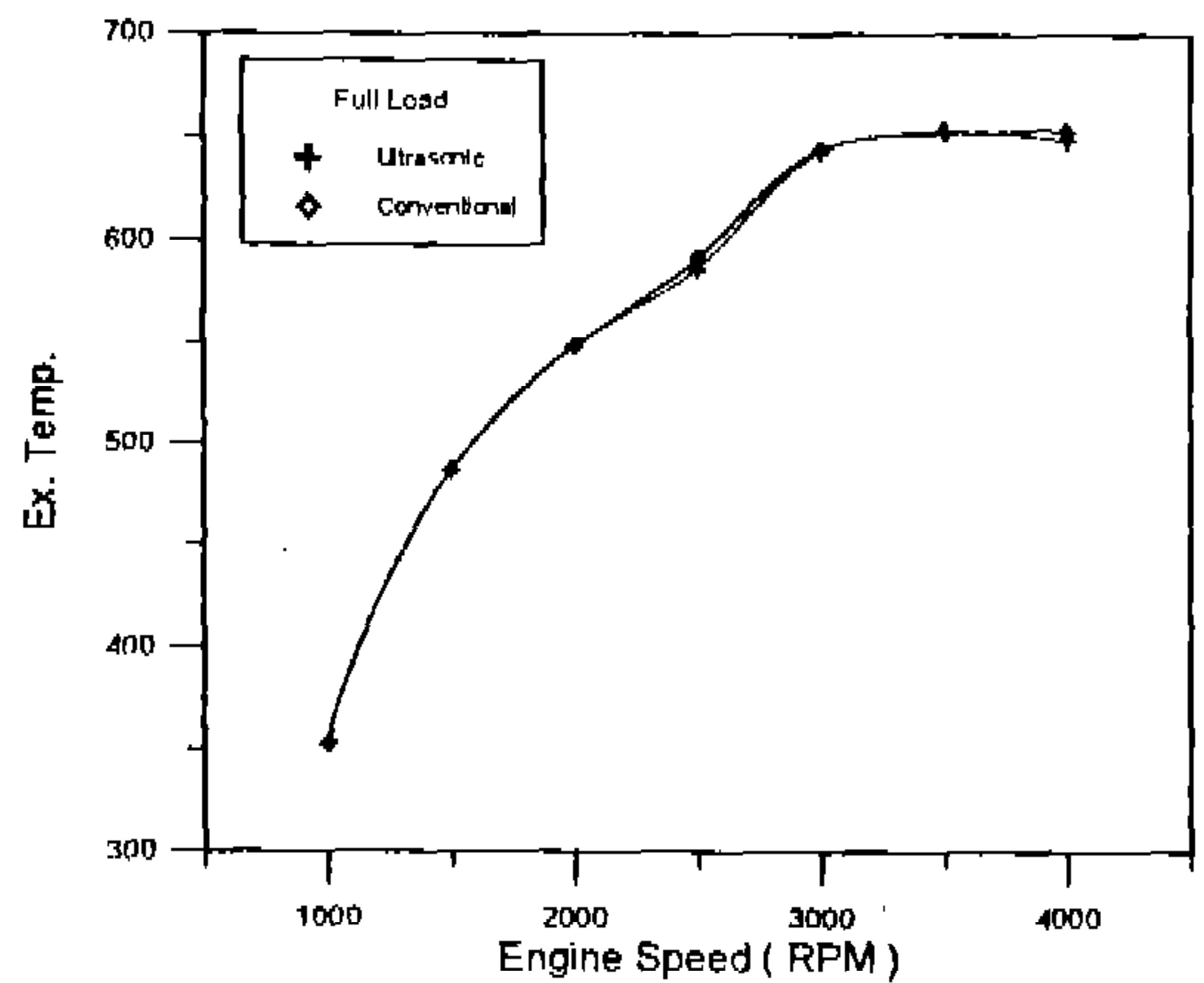


Fig.12 Relation of Exhaust Temperature VS. Engine Speed.

과급 디젤기관보다 매연 발생량이 많다. 이것은 예연소실보다 와류연소실에서의 연료는 와류를 일으키면서 연소하므로 연료의 확산이 잘되고 착화 지연이 짧아져서 연소시간이 짧아 매연의 생성을 억제하기 때문이다. 무과급 디젤기관에서는 초음파 연료공급장치를 사용한 경우가 초음파 에너지를 받아 연료분자구조의 변화¹¹⁾ 및 연료의 무화가 촉진되어 연소시간이 짧아지기 때문에 매연 발생량이 상용 인젝터를 사용한 경우보다 6%~24% 적어진다. 그리고, 과급 디젤기관에서는 과급 효과와 더불어 앞에서 기술한 것과 같은 이유로 매연 발생량이 초음파 연료공급장치를 사

용한 경우가 7%~23.3% 적어진다.

3.3 CO

Fig.10은 4/4부하에서 기관회전수에 따른 CO의 발생량을 상용 인젝터와 초음파 연료공급장치를 사용한 경우의 과급 디젤기관의 경우에 대하여 나타낸 것이다. 4/4부하에서 회전수가 커질수록 CO는 많이 배출되고, 초음파 연료공급장치를 사용한 경우가 상용 인젝터에 비하여 -2%~29% 저하된다. 그 이유는 Fig.4와 같은 이유이다.

3.4 NOx

Fig.11은 4/4부하에서 기관회전수에 따른 NOx의 발생량을 과급 디젤기관이 상용 인젝터와 초음파 연료공급장치를 사용한 경우에 대하여 나타낸 것이다. 4/4부하에서 회전수가 커질수록 NOx는 많이 배출되고, 초음파 연료공급장치를 사용한 경우가 상용 인젝터에 비하여 -1%~11% 증가하는 것은 연료의 연소조건 개선으로 연소온도가 상승하였기 때문이다.

3.5 배기온도

Fig.12는 4/4 부하에서 기관회전수에 따른 배기온도와의 관계를 상용 인젝터와 초음파 연료공급장치를 사용한 과급 디젤기관에 대하여 나타낸 것이다. 4/4 부하에서 회전수가 커질수록 배기온도는 높고 두 경우의 차이는 거의 없지만 초음파 연료 공급장치를 사용한 경우가 약간 높다. 따라서 NOx는 많이 배출되고, CO는 적게 배출된다고 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서 제작한 초음파 연료공급장치를 무과급 및 과급 디젤기관에 부착 또는 미부착하여 기관성능시험, 매연, CO, NOx 등에 대하여 시험한 결과는 다음과 같다.

- 1) 무과급 디젤기관에서 초음파 연료공급장치를 사용한 경우가 출력, 연비면에서 향상되었으며, 배기유해 성분도 크게 감소되었다.
- 2) 과급 디젤기관에서 초음파 연료공급장치를 사용한 경우와 상용 인젝터를 사용한 경우 기관성능과 배기가스온도는 거의 일정하였다.
- 3) 과급 디젤기관에서 NOx는 초음파 연료공급장치를 사용한 경우가 전체평균에 비하여 약 3.5% 높게 나왔다.
- 4) 과급 디젤기관에서 매연과 CO는 초음파 연료공급장치를 사용한 경우가 전체평균에 비하여 약 17%와 11.8%가 향상되었다.

참 고 문 헌

1. 류정인 외 2인 : “충격파관을 이용한 분무연료의 착화지연에 관한 연구”, 한국자동차공학회지, 제11권 제6호, pp. 48~56, 1989
2. 廣安博之 外 1人 : “テイセル 噴霧の到達距離と噴霧角”, 日本自動車學術誌, No.21, 1980
3. Y. irako, M. hta, : “Effect of Lean Pre-Mixture on the Combustion in Diesel Engine”, JSME, vol. 16, no. 101, pp. 1750~1755, 1973
4. 方重哲, 太田幹郎 : “디젤기관의 연소개선법 및 실험방법”, 대한기계학회지, 제27권 제3호, 1987
5. T. J. Williams and M. J. Tindol : “Gas Flow Studies in D. I. Diesel Engine with Re-Entrant Combustion Chambers”, SAE Trans. No. 800027, 1980
6. 류정인 외 1인 : “초음파 진동이 흡기관내 흡입 연료 미립화에 미치는 영향”, 대한기계학회, 1985년 춘계발표대회 초록집, pp. 517~620, 1985
7. 남승덕 : “초음파 인젝터를 이용한 디젤 분무특성에 관한 실험적 연구”, 충남대학교 대학원 석사학위논문, 1989
8. 정명진 외 2인 : “초음파 진동을 이용한 디젤기관의 성능향상에 관한 연구”, 한국자동차공학회지, 제13권 제6호, pp. 67~71, 1991
9. 류정인 외 1인 : “초음파 인젝터를 이용한 디젤기관의 연소 특성에 관한 연구”, 한국자동차공학회, 추계학술강연회 초록집, pp. 34~39, 1989
10. 류정인 외 3인 : “초음파 연료분사장치를 사용한 디젤자동차의 주행성능에 관한 연구”, 한국자동차공학회, 추계학술대회 논문집, pp. 50~59, 1992
11. 류정인 외 1인 : “디젤기관에 있어서 저질유연소를 위한 기초 연구”, 충남대학교 공업교육연구소 논문집, 제14권 제1호, pp. 69~78, 1991