

超音波 燃料供給裝置用 가솔린自動車の 性能向上에 관한 研究(II) A Study on the Performance Improvement of the Ultrasonic Fuel Supply Device Type Gasoline Automobile(II)

최 두 석*, 설 진 호**, 이 흥 영***, 류 정 인*
D. S. Choi, J. H. Seol, H. Y. Lee, J. I. Ryu

ABSTRACT

This paper describes briefly the effect of ultrasonic fuel supply device on the performance of four stroke cycle gasoline engine. Experiments were carried out to clarify the effect of ultrasonic fuel supply device on the engine output, traveling fuel consumption ratio, exhaust emissions.

The results were obtained as follows :

1. Engine output was increased 9~14% in comparison with that of the conventional injector.
2. Travelling fuel consumption ratio was improved 17~29% in comparison with that of the conventional injector.
3. CO, HC exhaust emissions was decreased compared to the value of the conventional injector.
4. Fuel consumption ratio in highway driving test was improved about 10% in comparison with that of the conventional injector.

주요기술용어 : Ultrasonic Fuel Supply Device(초음파 연료 공급장치), Ultrasonic Generation System (초음파 발전장치), Ultrasonic Directivity(초음파 지향성), Standing Wave(정상파), Bolted Langevin Transducer(볼트 체결형 랭게빈 진동자)

1. 序 論

지난 70년대의 2차에 걸친 油類波動은 우리 나라 뿐만 아니라 全世界의 경제에 미친 영향이 매우 큰 것이었으며, 최근 페르시아만 사태는 또 한번 世界經濟를 불안하게 하였다. 이에 에너지

節約과 代替燃料의 개발을 위한 연구의 필요성을 더욱 증가시키게 되었다.

한편, 自動車用 機關에 관한 연구는 경제 및 기술적 측면에서 燃費의 向上과 出力性能의 向上, 社會 環境的 側面에서 煤煙과 騒音低減에 의한 排氣性能의 向上, 그리고 인간 공학적 측

* 정회원, 충남대학교 기계공학과
 ** 충남대학교 대학원 기계공학과
 *** 한국원자력연구소

면에서 안정성과 안락감을 위한 運轉性 向上등이 대상이 되어 왔으며, 이러한 것들은 相互關聯되어 작용한다. 즉 出力性能의 向上은 排氣性能을 약화시키는 경우가 많으며, 반대로 排氣性能 向上은 出力性能을 저하 시킨다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위하여 서로 最適點으로 접근하려는 연구가 진행되고 있다.¹⁾ 그의 하나로서 최근 활발히 연구되고 있는 最適時機에 最適量의 연료가 공급되도록 하는 방식은 電子制御 燃料噴射方式(EFI system)이 있다.²⁾

電子制御 燃料噴射方式은 精確한 시기에 精確한 量의 燃料을 실린더 가까이에 噴射함으로써 負荷 및 回轉數 變動에 즉시 적용할 수 있어 運轉性能(Driveability)을 向上시킬 수 있다. 또한 電子制御 燃料噴射方式은 각종 센서로부터 車輛狀態의 信號를 받아 電子制御裝置(ECU)에서 액추에이터를 작동시키고, Feed back control를 하게 하여 排氣性能도 向上시키고 있다.

그러나, 1994년 부터 歐美에서는 自動車 大氣排出有害 濃度を 매우 엄격하게 적용시키려하므로 現在와 같은 燃料噴射 매카니즘으로는 大氣汚染 규제값 이하로 낮추기가 곤란하다.

따라서 排氣有害成分을 節減시키는 方法의 일환으로 燃料粒子를 매우 미세하게 분열시켜 燃料室에 공급함으로써 그 效果를 증대시킬 수 있는 超音波에너지의 이용이 요구된다.

超音波 에너지는 크게 空洞現像作用(Cavitation)과 分散作用(Dispersion)을 통하여 액체 연료에 전달되는데 이러한 超音波에너지의 액체 연료에 대한 영향을 밝히고자 일련의 실험분석이 本 研究室에서 수행되었다. 既 研究에서는 액침법에 의한 噴霧燃料粒徑의 測定, 燃料의 化學的 分析, 燃料의 粘度變化 測定 및 디젤기관의 性能試驗을 통하여 超音波에너지 效果를 확인하였다.^{3~9)}

따라서 本 研究에서는 이러한 研究結果를 기초로 超音波 에너지를 가장 효율적으로 받을 수 있는 超音波 燃料供給裝置를 現在 常用되고 있는 電子制御 燃料噴射裝置의 Delivery Tube에 設計, 製作, 附着하여 超音波에너지가 機關出力 向上, 燃料消費率 向上, 排氣有害成分 低減 등에 어떤 影響을 미치는지에 대하여 常用 電子制御 燃料噴射裝置 가솔린自動車와 比較, 檢討하여 超音波에너지의 有用성을 밝히고자 한다.

2. 超音波의 指向性和 空洞現像作用

指向性(directivity)은 音이 일정방향에 강하게 放射되는 性質을 말한다. Fig.1은 超音波의 指向性을 나타낸 것으로 D는 음원의 직경이고 λ는 파장이며 세로줄 0.2~1.0은 직진길이를 비교하기 위한 수치이며 30, 60, 90은 각도를 나타낸

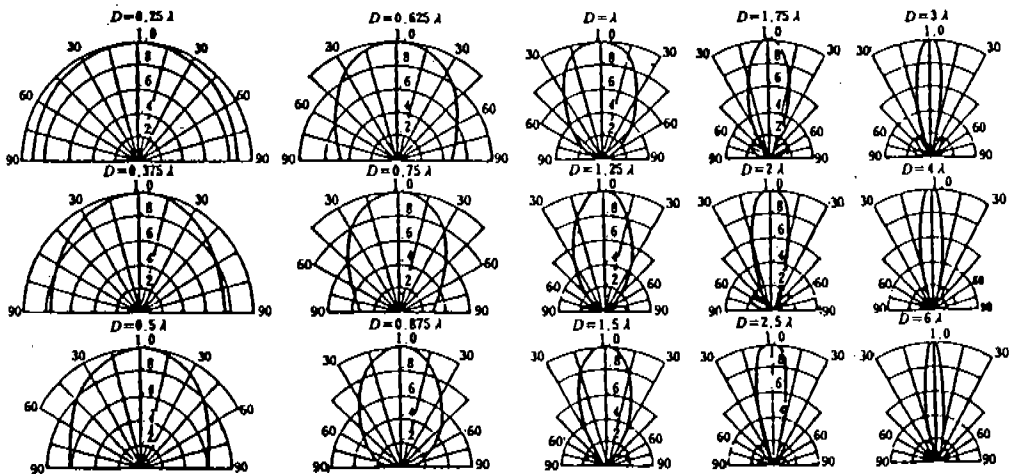


Fig.1 Diagram of Ultrasonic Directivity

것이다. 周波數가 높은 만큼 指向性이 날카롭고 음원의 크기가 다른 때에는 그림과 같이 D 에 대한 λ 의 비가 크게 될수록 指向性이 예리하게 되는 것으로 나타난다.

좌측상단 그림의 경우 周波數가 작고 음이 낮기 때문에 正面方向만이 아니고 橫방향에도 放射되는 성질을 갖는 超音波로 海底探査用등에 이용된다.¹⁰⁾ 그리고 우측하단 그림의 경우는 周波數가 크고 음이 높기 때문에 振動面의 正面方向으로 集中放射되는 성질의 초음파로 의료 기기 등에서 세포나 입자 등을 미세화 시키는데 이용되는¹⁰⁾ 것으로 本 實驗에서는 공동현상작용을 극대화 시키기 위하여 이런 성질을 갖는 超音波를 利用하였다.

액체중에 강력한 超音波를 조사하면 Fig.2와 같이 액체에 過壓과 負壓이 생긴다. 이때 발생하는 負壓에 의하여 액체가 찢겨 空洞(cavity)이 발생한다. 이 현상을 空洞現象作用이라 하며, 이때 발생하는 氣泡는 音壓의 압축위상에서 압축되고 액체중에 용해되는 것도 있으나, 어느 반경이 되면 消滅하지 않고 음장내에서 진동한다. 氣泡는 이 진동중에 깨어지기도 하고 이때 衝擊波가 발생, 액체중에 국부적으로 큰 힘을 주게 된다. 또한 깨어질 때 국부적으로 고온이 되기도 한다. 空洞現象作用은 액체중에 각종의 物理的 혹은 化學的 作用에 영향을 주는 것으로 수용액중의 酸化 및 還元反應은 空洞現象作用이 원인이 되어 생기고, 超音波 세정은 空洞現象作用이 지배적인 것으로 알려져 있다.¹¹⁾ 空洞現象作用의 발생에 영향을 미치는 주요인자로는 표면형상, 액체의 압력 및 속도, 액체의 성질, 액체에 함유된 기체, 고체 등의 불순물 등으로 알려져 있다.

Fig.2의 좌측 그림은 空洞現象作用의 分裂學 動을 音壓 P 와 時間 t 의 관계로 나타낸 것으로 靜壓 P_0 (보통 1기압이다)를 중심으로 音壓의 增減이 일어난다. 곡선 A 는 超音波의 出力(音壓 振幅)이 작은 경우, 곡선 B 는 出力이 큰 경우로써 큰 過壓과 負壓을 일으킨다. 이 負壓에 따라서 액체는 끌어 당겨지고, 액체중의 氣泡核이나 溶存 空氣分子가 集합이나 生長으로 空洞(氣泡)를 2에서 발생한다. 氣泡는 더욱 발달하여 3에서 최대로 되며, 점차로 氣泡는 압축되어 4에서 空洞消滅 또는 작은 凝縮氣泡로 되고, 5에서 더욱 단열압축되어 그로 인하여 액내에 結렬한 잠음이 발생하고, 액체가 충돌하여 합쳐지고 파괴되며, 放射壓이나 直進流도 가해져 液面이 발달하거나 그로부터 流塊도 생기지만 固有 周波數의 噴霧가 무수하게 발생하게 된다. 이 分裂過程은 우측 그림에 나타낸 바와 같다.¹⁰⁾

液體燃料에 超音波 振動에너지가 가해지면 空洞現象作用이 일어나서 활성에너지가 燃料에 전달되므로 燃料의 物理的 特性과 化學的 特性^{12,13)}이 變하여 燃料噴射時 液滴크기가 매우 미세하게 된다.

3. 實驗裝置 및 方法

Fig.3은 超音波의 空洞現象作用을 최대로 利用할 수 있도록 설계된 超音波 燃料噴射裝置가 Delivery Tube에 부착된 조립도이다. 入口 ④로 들어온 燃料은 볼트체결형 랑기변 振動子 ②에 부착된 계단형 혼③의 선단과 반사판⑤ 사이에 형성된 정상파(Standing Wave)의 에너지를 받아 활성화된 후 出口를 통하여 Delivery Tube로 공급된다.

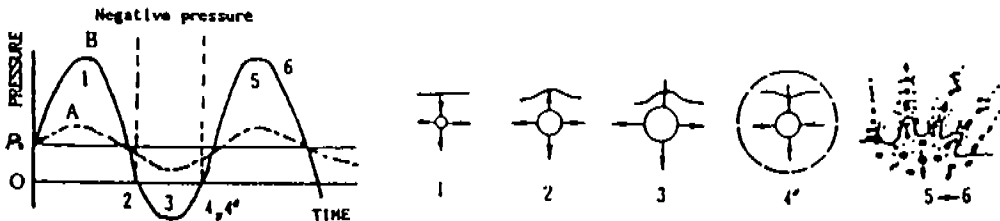
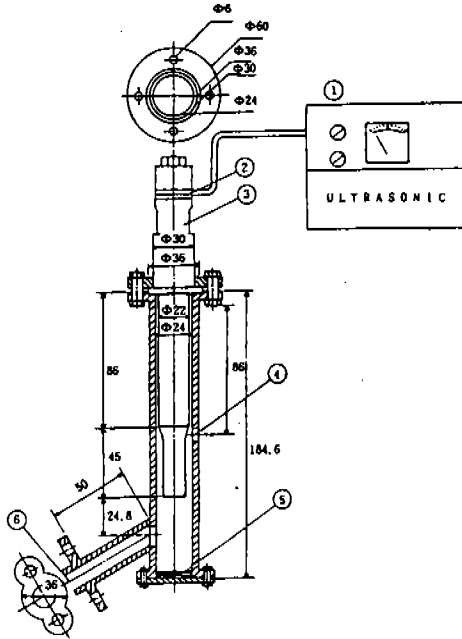


Fig.2 Mechanism of Cavitation Generation

Table 1 Specification of 28.5KHz BLT(Bolted Langevin Transducer)

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	3000±15%	60	9.6	φ29.5, 5	2



1. Ultrasonic Generator 2. Bolted Langevin Transducer
3. Horn 4. Fuel Inlet 5. Reflector 6. Fuel Outlet

Fig.3 Schematic Diagram of Ultrasonic Fuel Supply Device

Table 1은 종진주파수 28.5KHz 볼트체결형 랑게빈 振動子(Bolted Langevin Transducer : BLT)의 특성을 나타낸다. 이 振動子는 高溫, 高壓과 振動에 견디며 부착이 용이하고 내구성 있으며, 電氣音響 變換效率이 높고 진동속도가 빠르면서 發熱이 적고 가격이 비교적 저렴한 振動子이다.¹⁰⁾

Fig.4은 自動車裝着用 超音波 發振裝置의 개략도이다. 이 超音波 發振裝置는 직접 自動車 電源인 DC 12V를 사용하여 높은 효율을 얻을 수 있고, 전압변화에 따른 超音波 出力變化가 미소하도록 개발한 장치이다.

Table 2는 實驗自動車의 제원을 나타내고, Ta-

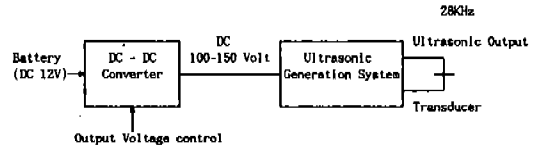


Fig.4 Schematic Diagram of Ultrasonic Generation System

Table 2 Specification of Test Vehicle

Contents	Specification
Type	Water-cooled, 4 stroke cycle, 4 cylinder Gasoline Engine
Actuated mechanism	SOHC
Bore×stroke(mm)	75.5×82
Piston displacement(cc)	1,468
Ignition timing	BTDC 5°±1°/700rpm
Max. Output(hp/rpm)	90/5,500
Compression ratio	9.4 : 1
Gross Weight(Kg)	1,340
Driving Type	Front Drive

Table 3 Specification of Chassis Dynamometer

Contents	Specification
Max. Capacity per axle	2,000Kg
Max. test speed	200Km/h(125mph)
Max. Power	200KW
Roller dia.	268mm
Useful length of rollers	2,100mm

ble 3은 실험에 사용한 차시 다이노메타(Bosch Co., Germany)의 제원을 나타낸다.

Fig.5는 常用 인젝터용(MPI) 가솔린 自動車의 실험장치 개략도로서 自動車 前輪을 차시 다이노메타의 롤러위에 올려놓고 운전하면서 시험하도록 하였다.

실제 自動車의 性能試驗은 常用 電子制御 噴射裝置 附着 가솔린 自動車에 超音波 燃料供給 裝置를 부착한 경우(이하는 “超音波 霧化 自動車”로 표기함)와 부착하지 않은 경우(이하는 “常用 인젝터 自動車”로 표기함)에 대하여 各 各 새시 다이내모메타로 車輪性能을 比較, 分析하였다. 試驗方法은 加速走行인 경우와 定速走行인 경우로 나누어 比較하였다. 加速走行試驗은 自動車의 設定速度를 120km/h로 定하고 1단 기어로부터 출발하여 設定速度의 1/2 速度에 이르기 전에 5단 기어까지 바꾼 다음 WOT(Wide Open Throttle)상태로 設定速度에 이를 때까지 가속한 후 중립기어 상태로 감속한다. 이때 加·減速時의 機關出力이 X-Y레코더에 의해 기록하여 兩 機關의 機關出力을 相互 比較하였다.

또한 定速走行試驗은 새시 다이내모메타의 롤러위에서 走行速度 40Km/h, 60Km/h, 80Km/h로 40Km씩 定速走行하여 各 各의 燃料消費量을 Multi Digital Tester로 연료탱크에 있는 燃料센서의 저항값을 측정하여 走行距離로 나누어 燃料消費率을 산출하여 比較하였다.

그리고 CO, HC 排出量은 各 各 MEA-1,500 Modular 엔진분석기로 기관회전수 750rpm, 1,000rpm, 1,500rpm, 2,000rpm, 2,500rpm, 3,000rpm에 대하여 定速走行하면서 測定 比較하였다.

高速道路 走行試驗의 走行코스는 유성톨게이

트에서 정음휴게소까지 왕복코스라 하였으며, 走行試驗은 常用 인젝터 自動車와 超音波 霧化 自動車에 대하여 자동차를 출발지로 부터 대략 50Km당 燃料消費量을 측정하여 總 219.5Km에 대하여 連續 測定하여 相互 比較하였다.

走行試驗에 自動車 速度는 가능한 한 定速 80Km/h에 고정하려 하였으나 高速道路 사정으로 定速走行이 어려웠으므로 超音波 霧化 自動車의 走行條件을 既 先行한 常用 인젝터 自動車의 走行條件에 따르게 遂行하였다.

4. 結果 및 考察

4.1 機關 出力

Fig.6는 超音波 霧化 自動車의 경우와 常用 인젝터 自動車의 加速走行試驗時의 機關出力을 X-Y 레코더에 의하여 記錄, 比較한 것으로 設定速度는 120Km/h이다. 그림에서 陽(+)의 값 P_{md} 는 機關의 餘裕馬力 값이고, 陰(-)의 값 P_{loss} 는 損失馬力으로서 새시 다이내모메타의 롤러를 구동하는 馬力이며, 機關出力(P_{mov})은 餘裕馬力(P_{md})+損失馬力(P_{loss})이 된다. 그림에서와 같이 超音波 霧化 自動車의 出力값이 증가하고 있는데 設定速度 120Km/h에서의 값은 37KW이며, 常用 인젝터 自動車의 出力값은 34KW로 9% 증가하고 있다.

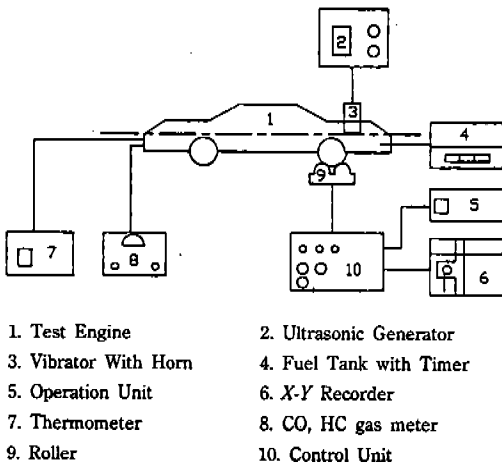


Fig.5 Schematic Diagram of Chassis Dynamometer Test

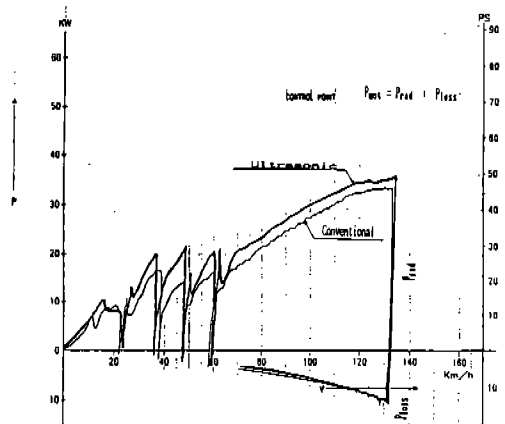


Fig.6 Diagram of Chassis Dynamometer Test

이와같은 이유는 燃料가 Delivery Tube로 가
기전에 超音波에너지를 받아 燃料分子 構造의
Branch Index 값이 저하하므로 연료 Branch가
잘라지는 化學의 特性 변화와 그로 인하여 粘性
低下, 沸騰 變化 등의 物理的 特性 변화로 燃料
供給時 燃料粒徑이 미세하게 됨으로써 燃焼가
改善되어 얻어지는 것으로 예측된다.^{12,13)}

Fig.7은 自動車의 走行速度에 대한 機關의 餘
裕出力값을 나타낸 것이다. 超音波 霧化自動車의
餘裕出力값이 常用 인젝터 自動車의 餘裕出力값
보다 증가하고 있는데 80Km/h에서 14%, 100
Km/h에서 11%, 그리고 120Km/h에서는 9%로서
80Km/h 부근에서 最高의 出力 增加를 보이고
있다. 80Km/h의 경우는 타속도에 비해 燃料가
超音波 燃料供給裝置에서 超音波에너지를 받는
시간이 많으므로 활성화가 충분히 일어나서 燃

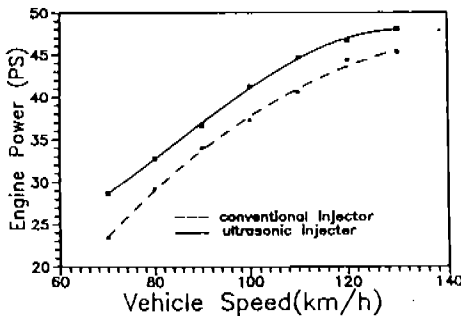


Fig.7 Relation of Engine Power vs. Vehicle Speed(Chassis Dynamometer Test)

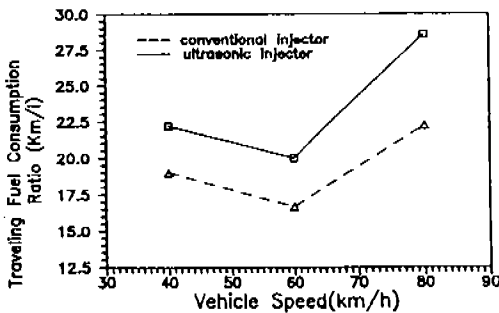


Fig.8 Relation of Traveling Fuel Consumption Ratio vs. Vehicle Speed(Chassis Dynamometer Test)

料室에 미세하고 고르게 噴霧되어⁹⁾ Fig.6의 이
유와 같이 燃焼改善의 效果가 얻어지는 것으로
예측된다.

4.2 燃料 消費率

Fig.8은 定速走行試驗時의 自動車速度에 대한
燃料消費量의 關係를 나타낸 것으로 超音波 霧
化自動車의 走行燃料消費量이 40Km/h에서 17
%, 60Km/h에서 20%, 80Km/h에서는 29%가 向
上되었다. 이 역시 80Km/h에서 가장 큰 향상을
보였다. 이와같이 超音波 霧化自動車의 燃料消費
가 적은 이유는 超音波 燃料供給裝置에서 超
音波에너지를 받은 연료의 燃焼改善의 效果로¹²
¹³⁾ 燃料消費率이 向上되었기 때문이다.

4.3 CO, HC 가스

Fig.9은 實驗自動車의 機關回轉數와 CO가스
량의 關係를 나타낸다. 超音波 霧化自動車의 경
우가 常用 인젝터 自動車보다 CO가스량이 약 6~
60% 감소하는 경향을 보인다.

機關回轉數別로 超音波 霧化自動車와 常用
인젝터 自動車의 배출 CO량은 超音波 霧化自動
車의 경우 동일한 회전수 750rpm에서 60%, 1,000
rpm에서는 30%, 그리고 1,500~3,000rpm에서 6
% 減少함을 나타내고 있다.

그림에서와 같이 超音波 霧化自動車의 CO가
스량이 적게 배출되는 것은 燃料粒子的 微細化
에⁹⁾ 기인한 燃焼改善의 效果^{12,13)} 때문이라고 사
료된다.

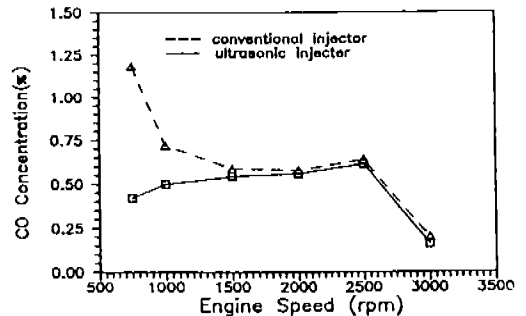


Fig.9 Relation of CO Concentration vs. Engine Speed

Fig.10은 實驗自動車의 機關回轉數와 HC가스량의 관계를 나타낸다. 超音波 霧化自動車의 경우가 常用 인젝터自動車보다 HC가스량이 약 6~32% 감소하는 경향을 보인다.

機關回轉數別로 超音波 霧化自動車와 常用 인젝터自動車의 배출HC량은 超音波 霧化自動車의 경우 동일한 회전수 750rpm에서 32%, 1,000~1,500rpm에서는 6%, 2,000~2,500rpm에서 25%, 그리고 3,000rpm에서 11% 減少함을 나타내고 있다.

그림에서와 같이 超音波 霧化自動車의 HC가스량이 CO가스량과 마찬가지로 적게 배출되는 것은 燃料粒子의 微細化에⁹⁾ 기인한 燃燒改善의

効果^{12,13)} 때문이라고 사료된다.

특히, 공회전시에는 CO 濃度와 HC 濃度가 많은 減少를 보이고 있는데 그 이유는 공회전시에는 적은 연료를 필요로 하기 때문에 燃料가 超音波에너지를 받는 시간이 길어져서 충분히 활성화된 후 燃燒室에 공급되기 때문에 排氣有害가스가 현저히 減少되었다고 사료된다.

4.4 高速道路 走行試驗

常用 인젝터自動車의 超音波 霧化自動車를 同一코스(219.5Km)를 주행하면서 대략 50Km 당 燃料消費량을 측정하여 Table 4에 나타내었다.

燃料消費率의 總 平均값을 비교하면 常用 인젝터 自動車에 비하여 超音波 霧化自動車가 약 10% 節減되었다. 그 이유는 超音波에너지를 받은 燃料의 燃燒改善의 效果로^{12,13)} 燃料消費가 向上된다고 사료된다.

5. 結 論

本 研究는 가솔린自動車의 性能向上을 위한 한가지 方法으로 超音波 燃料供給裝置를 제작한 후 常用 電子制御 燃料噴射裝置의 Delivery Tube에 부착하여 실험한 결과 다음과 같은 결

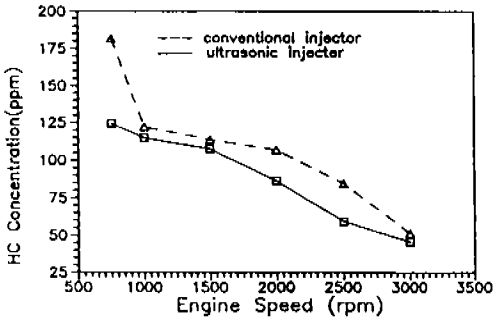


Fig.10 Relation of HC Concentration vs. Engine Speed

Table 4 Measured Kilometer for Fuel Consumption

Starting Point	Arrival Point	Distance of Section (Km)	Time Required (minute)	Quantity of Consumed Fuel (L)	Fuel Consumpt-ion Ratio (Km/L)	Average Speed (Km/L)
Yu Seong	Yeo San	46.8	36	3.07	15.24	78.0
			*35	*2.48	*18.87	*80.2
Yeo San	Jeong Ju	58.5	46	3.46	16.91	76.3
			*44	*3.05	*19.18	*79.8
Jeong Ju	Yeo San	66.8	51	3.83	17.44	78.6
			*50	*3.72	*17.95	*80.2
Yeo San	Yu Seong	47.4	36	3.01	15.75	79.0
			*37	*2.87	*16.51	*76.9
Total		219.5	169	13.37	16.42	77.9
			*166	*12.12	*18.11	*79.3

* Automobile of Ultrasonic Fuel Supply Device

론을 얻었다.

- 1) 超音波 燃料供給裝置를 사용한 경우가 常用 電子制御 燃料噴射裝置를 사용한 경우보다 機關出力은 9~14% 上昇하였다.
- 2) 燃料消費率은 17~29% 까지 向上되었다.
- 3) CO가스량은 6~60% 減少하였고, HC가스량은 6~32% 減少하였다.
- 4) 高速道路 走行試驗에서 走行燃料消費率이 약 10% 向上되었다.

참 고 문 헌

1. A.J.Gomez, P.D.Reinke, "Lean burn : A Review of Incentives Method and Trade off", SAE Paper 880291, 1988.
2. C.F.Aquino, S.R.Fozo, "Steady state and Transient A/F control Requirement for cold operation of a 1.6 Liter Engine with single point Fuel Injection", SAE Paper 850509, 1985.
3. 류정인, 조규상, 이성래, 최두석, "가솔린기관용 超音波 微粒化 裝置의 妥當性에 관한 研究(I)", 韓國自動車工學會誌, 제9권 제4호, pp.41~49, 1987.
4. 류정인, 김봉석, "가솔린기관용 超音波 微粒化 裝置의 妥當性에 관한 研究(II)", 大韓機械學會 1987년 春季 學術大會 論文集, pp. 381~385, 1987.
5. 류정인, "內燃機關 技術者를 위한 液體 微粒化(I)", 韓國自動車工學會誌, 제11권 제4호, pp.30~34, 1989.
6. 류정인, "內燃機關 技術者를 위한 液體 微粒化(II)", 韓國自動車工學會誌, 제11권 제5호, pp.46~54, 1989.
7. 류정인, 조규상, 고창조, "가솔린기관용 超音波 微粒化 裝置의 妥當性에 관한 研究(III)", 忠南大學校 産業技術研究所 論文集, 제4권 제2호, pp.46~52, 1989.
8. 류정인, 이규용, 오승엽, "디젤기관의 完全燃燒를 위한 超音波 燃料噴射裝置의 開發에 관한 研究", 韓國科學財團 目的基礎研究 第1次 中間報告書, 1991.
9. 류정인, 이규용, 오승엽, "디젤기관의 完全燃燒를 위한 超音波 燃料噴射裝置의 開發에 관한 研究", 韓國科學財團 目的基礎研究 第2次 中間報告書, 1992.
- 10.千葉近, "超音波 噴霧", 山海堂, 1991.
11. 島川正憲, "超音波 工學", 工業調査會, 1977.
12. 류정인, 정명진, "디젤기관에 있어서 低質油 燃燒를 위한 基礎研究", 忠南大學校 工業教育研究所 論文集, 제14권 제1호, pp.69~78, 1991.
13. 류정인, 조규상, 정명진, "超音波振動을 이용한 디젤기관의 性能向上에 관한 研究" 韓國自動車工學會誌, 제13권 제6호, pp.65~71, 1991.