

# 가솔린 기관용 초음파 미립화장치의 타당성에 관한 연구(I)

— 연료 미립화를 중심으로 —

A Study on the Propriety of Ultrasonic Atomization Apparatus  
for the Gasoline Engine (I)

— In the Case of the Atomization of Fuel —

조규상\*, 이성래\*, 최두석\*\*, 류정인\*\*\*  
G. S. Cho, S. L. Lee, D. S. Choi, J. I. Ryu

## ABSTRACT

It is an experimental study to improve the characteristics of combustion and exhaust emission gas in the gasoline engine.

These characteristics are influenced by the fuel droplet size.

To improve these characteristics, we make the ultrasonic atomization apparatus, and compare with the commercial carburetor.

The results obtained are as follows:

1. Maximum atomization quantity is obtained by the vibrator of resonancy frequency 1.65 MHz in the ultrasonic atomization apparatus.
2. With ultrasonic atomization apparatus, more than 99% of atomization rate can be obtained regardless of intake air temperature, velocity, and air-fuel ratio.
3. Atomization rate of the commercial carburetor increases with the air-fuel ratio and intake air temperature.
4. Difference of atomization rate between the ultrasonic atomization apparatus and the commercial carburetor increases with decreasing air-fuel ratio.
5. Droplet size is about 1.5 $\mu$ m at the ultrasonic atomization apparatus, and 80-150 $\mu$ m at the commercial carburetor, which indicates the ultrasonic atomization apparatus is excellent in atomization.

## 1. 서론

세계 각국에서는 가솔린기관의 출력향상과 배기유해성분의 저감책을 꾸준히 연구하고 있으

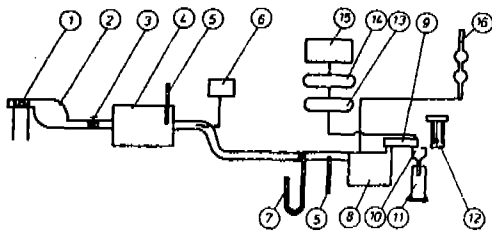
나, 아직 충분히 만족할만한 단계에 이르지 못하고 있다. 이러한 연구중에서도 연소특성을 개선하여 성능 및 연료경제성을 향상시키면서 배기유해성분을 저감하려는 방향으로 연

\* 충남대 대학원 기계공학과

\*\* 한국과학기술원 기계공학과

\*\*\* 충남대 기계공학과

구가 계속되고 있다.<sup>1)</sup> 연소특성을 개선하려는 한 방법으로 흡기관내에서 기화를 촉진시켜 액막유량을 감소시키고, 공기와 거의 균일 혼합하도록 하면 열효율과 성능이 향상되며, 배기유해가스가 감소하게 된다.<sup>2,3)</sup> 그러나, 기존가솔린기관에서의 액막유량은 공급연료량의 30%~50% 정도이며, 액막류의 평균유속은 기화된 혼합기 평균유속의 1/100 정도로, 흡기밸브를 통하여 액체상태로 기관에 유입되면, 기화잠열로 인한 연소온도의 저하, 불완전연소, 윤택유해성 등의 원인이 된다.<sup>4)</sup> 한편 기화된 연료의 입경에 따른 연소특성을 살펴보면 입경이 약 10  $\mu\text{m}$  이하이면 기체연료와 비슷한 연소특성을 가지며, 40  $\mu\text{m}$  이상이면 개별적으로 연소하여 불완전연소되기 쉬우며, 10  $\mu\text{m}$ ~40  $\mu\text{m}$  사이이면 그 중간특성을 나타낸다.<sup>5)</sup> 그래서 연소실에 유입되기전에 연료를 가능한 한 미립화시켜 유입하려는 연구가 진행되고 있으며,<sup>6)</sup> 연료를 미립화시키는 방법으로는 원판의 회전을 이용한 방법과 초음파에너지를 이용하는 방법 등이 있다.<sup>7,8,9)</sup> 따라서 본 연구에서는 공급된 연료를 거의 완전미립화시켜 액막유를 최소로 하며, 기체연료와 비슷한 미립자로 만드므로써 공기와 균일 혼합시켜, 연소특성과 배기특성을 개선하려는 연구의 일환으로 초음파 미립화장치를 개발하였으며, 이 장치가 연료의 미립화에 미치는 제인자와 기존 기화기에서의 미립화율을 측정, 비교하였다.



- |                         |                        |
|-------------------------|------------------------|
| 1. Preheater            | 9. Intake manifold     |
| 2. Blower               | 10. Gutter             |
| 3. Valve                | 11. Measuring Cylinder |
| 4. Air Surge Tank       | 12. Droplet Catcher    |
| 5. Thermometer          | 13. Measuring Circuit  |
| 6. $\mu$ -Manometer     | 14. A/D Converter      |
| 7. Manometer            | 15. $\mu$ -Computer    |
| 8. Ultrasonic Generator | 16. Fuel Meter         |

Fig.1 Schematic Diagram of Experimental Apparatus

## 2. 실험장치 및 실험방법

### 2-1 실험장치

Fig.1은 연료(시판용 보통 휘발유)를 미립화시켜 미립화율을 측정하기 위해 사용한 실험장치의 개략도이다. 온풍기로 가열된 후 Heating Coil 망 ①로 재가열된 흡입공기가 026 KW, 3100 rpm, 단상유도전동기로 구동되는 원심식 송풍기 ②에 의해 유량조절밸브 ③을 거쳐 Air Surge Tank ④로 공급되고 여기서 온도계 ⑤로 공기의 온도가 측정된다. 마이크로 마노미터 ⑥과 액주마노미터 ⑦로 단열관속을 흐르는 공기의 유속이 측정된 후 초음파 미립화장치 ⑧에 들어간다. 한편 초음파미립화장치로 흘러 들어가는 연료는 디지털 연료유량계 ⑩에 의해 계측되며, 직경연료유면을 유지하도록 뜨개를 설치하였다. 미립화된 연료공기혼합기가 투명아크릴흡기관 ⑨를 지나서 대기중에 방출되도록 하였으며 이때 투명아크릴관에 설치된 무화측정장치로 미립화율을 측정하여 A/D Converter ⑭를 거쳐 마이크로 컴퓨터 ⑮에 입력된다. 동시에 흡기관끝에 설치한 매스실린더 ⑪로 액막유량을 측정하였다.

또한 흡기관을 지나 대기중으로 방출되는 혼합기가 낙하하는 적당한 부분에 입자포집장치 ⑫를 설치하여 슬릿에 들어오는 입자의 입경을 측정하였다.

Photo.1은 초음파 미립화장치에서 혼합기가 분출되는 현상이며 주요 실험장치의 구체적 설명은 다음과 같다.

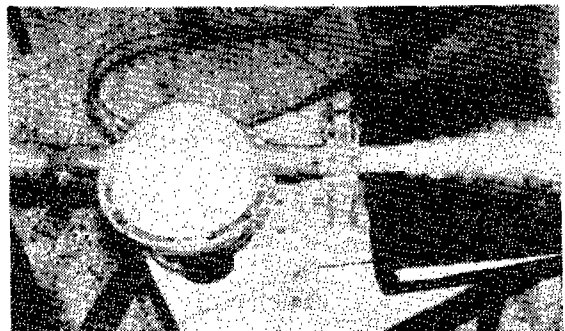


Photo.1 Ultrasonic Atomization Apparatus

2-1-1 초음파진동자 및 원리

연료의 미립화를 위해 초음파미립화장치에 사용한 진동자는 전왜(電歪) 진동자로서, 티탄산 바륨으로 된 Disc type이다. 공진주파수가 1.65, 1.70, 1.75, 1.80 MHz의 네종류를 사용하였으며, 양면에 은으로 된 전극을 부착하여 회로에 연결하였다. 진동자의 공진주파수  $f$ 는 두께  $t$ 의 함수로 다음과 같이 나타낸다.

$$f = N/t$$

여기서  $N$ 은 재료에 따른 주파수정수(Hz·mm)이다.

또한 진동자는 하나의 Capacity로서 순간적으로 전기를 충전 방전하면서 진동하는데 진동중에는 도체이지만 진동하지 않을때는 부도체이다. 이 진동이 매질인 연료에 전달되어 액체의 분자와 분자가 충돌하면서 미립자를 발생시킨다. 진동자의 Capacity  $C$ 는 다음식으로 나타낸다.

$$C = kd^2/144t$$

여기서  $K$ 는 유전율,  $d$ 는 진동자의 직경(mm)이다. Table 1은 실험에 사용한 진동자의 물리적특성을 나타낸다.<sup>10)</sup>

Table 1 The Physical Characteristics of Vibrator at thickness

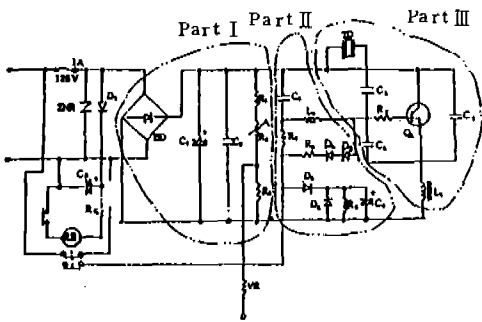
Thickness(mm)	Frequency(MHz)	Capacity(pF)
1.3	1.65	2100
1.26	1.7	2170
1.22	1.75	2240
1.18	1.8	2310

2-1-2 초음파 발전회로

본 실험에 사용한 초음파 발전회로를 Fig. 2에 나타낸다. 이 회로의 발전방식은 Colpitts 발전방식으로 발전의 원인이 되는 공진 Tank 회로는 partⅢ의 C와 L의 병렬공진방식이다. 이 회로에서 part I은 입력교류전원을 직류전원으로 바꾸는 정류회로부이고, partⅡ는 역기전력을 방지하는 Filter부, partⅢ는 진동을 일으키게 하는 증폭 및 발전부이다.

2-1-3 미립화율 측정장치

기준기화기에서의 미립화율은 영국 PLINT사 468 CC 단기통 4Cycle 가솔린기관의 기화기와 흡기관을 Fig. 1의 초음파 미립화장치와 흡기관 대신에 설치하고 드로틀밸브 전개상태에서 기화기를 지나는 공기에 의해 연료가 무화되어 대기중에 방출할때 흡기관 끝에 설치한 메스실린더에 모이는 액막유량을 측정하여 미립화율을 구하였다.<sup>12)</sup>



Symbol	Spec.	Symbol	Spec.	Symbol	Spec.	Symbol	Spec.
R <sub>1</sub>	4.7K 1/2W	C <sub>1</sub>	4.7 μ 100V	D <sub>1</sub>	IN 4002	BD	RB-CO5DK 101
R <sub>2</sub>	4.7K-B	C <sub>2</sub>	0.33 μ 100V	D <sub>2</sub>	IN 4148	ZNR	ERZ-CO5DK101
R <sub>3</sub>	5.1K 1/4W	C <sub>3</sub>	0.01 μ 500V	D <sub>3</sub>	IN 4148	Q <sub>1</sub>	2 SC 2579
R <sub>4</sub>	150 1/4W	C <sub>4</sub>	100 μ 200V	D <sub>4</sub>	IN 4148	VR	5 K-B
R <sub>5</sub>	750 1/4W	C <sub>5</sub>	0.05 μ 200V	D <sub>5</sub>	IN 4148		
R <sub>6</sub>	5.1K 1/4	C <sub>6</sub>	0.047 μ 200V	L <sub>1</sub>	27.4 μ		
R <sub>7</sub>	3.91 RS	C <sub>7</sub>	1800 μ 630V	L <sub>2</sub>	100 μ		
R <sub>c</sub>	2.2K 1W	C <sub>R</sub>	33 μ 100V				

Fig.2 The Circuit of Ultrasonic Vibration Generator

한편 초음파미립화장치에서의 미립화율측정은 미립화율이 공연비의 함수로 나타내짐에 착안하여 조도(照度)의 변화에 따라 저항이 달라지는 센서 CdS 을 이용하였다. 미립화된 연료의 공기의 혼합기가 지나는 아크릴 흡기관 의 한쪽에 CdS 를 설치하고 맞은편에 6V 꼬 마전구를 설치하여, 혼합기가 지남에 따라 빛 밝기가 변하게 되는 회로를 Fig. 3과 같이 제작하여 1초에 한번씩 Sensing 하도록 하여 Sampling time이 1KHz인 A/D Converter 를 거쳐  $\mu$  computer 에 연결, 측정하였다.

여기서 기준이 되는 미립화율을 구하기 위해 기존기화기에서와 같은 방법으로 측정 한 결과, 최저 99% 일때를 기준으로 정하여 측정장치회로에서의 출력전압을 0V로 하고, 미립화율이 99.5% 일때는 2.5V로 하여 그 사이를 증폭, 128 등분하여 A/D Converter에 입력된다.

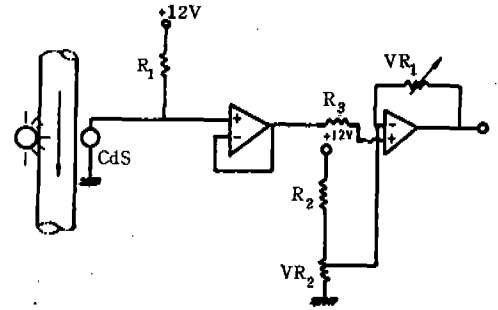
2-1-4 입경측정

초음파 미립화장치에 의해 생성되는 가솔린 입자의 입경과 기존기화기에 의해 생성되는 가솔린 입자의 입경측정은 실리콘오일 (1000 cSt, 20°C)을 이용한 액침법<sup>4,11)</sup>으로는 연료가 용해되어 측정할 수 없다. 그래서, 가솔린 대신에 물을 사용하여 실리콘오일을 도포한 슬라이드유리에 입자를 받아서 400배 확대 현미경사진을 촬영하였다. 이때 조명에 의한 열로 입자가 증발하지 않도록 단열필터를 사용하였으며, 물의 온도는 13~20°C, 상대 습도는 50~75% 범위에서 실험을 실시하였다. 그러나 가솔린과 물의 성질이 다르므로 가솔린의 입경과 다소 다르리라고 예상된다.

2-2 실험방법

2-2-1 진동자별 미립화율

가) 유면의 높이에 따른 미립화량  
 입력전압을 45V로 고정하고 초음파미립화 장치내 연료유면의 높이를 20mm에서 70mm까지 5mm씩 증가하면서 1.65, 1.70, 1.75, 1.80 MHz의 진동자에 대하여 미립화량을 측정하였다.



Symbol 1	Spec.
R <sub>1</sub>	10 K 1/4 W
R <sub>2</sub>	47 K 1/4 W
R <sub>3</sub>	3 K 1/4 W
VR <sub>1</sub>	100 K-B
VR <sub>2</sub>	10 K-B
CdS	2 PK-62 H

Fig.3 The Circuit of Measuring Apparatus

나) 입력전압에 따른 미립화량

초음파미립화장치내 연료유면의 높이를 45mm로 고정하고 입력전압을 35, 45, 55V로 증가시키면서 각 진동자에 대한 미립화량을 측정하였다. 또한 1.65 MHz 진동자에 대해서는 입력전압을 35, 45, 55V로 변화시켰을때의 파형과 진폭을 Oscilloscope를 이용하여 관찰하였다.

2-2-2 미립화율

일반적으로 미립화율( $\varphi$ )은 분출된 연료와 이중에서 액막으로 채집되는 양을 빼것의 백분율로 나타내며 다음과 같이 계산된다.

$$\varphi = \frac{Q_f - Q_l}{Q_f} \times 100 (\%)$$

여기서  $Q_f$ 는 공급연료량,  $Q_l$ 은 액막유량이다.

미립화율은 기존기화기와 초음파미립화장치에서 공기유속을 6, 7, 8, 9 m/sec, 공기온도를 10, 20, 30, 40°C, 공연비를 8, 11, 14, 17, 20으로 각각 변화시키면서 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3-1 진동자별 미립화량

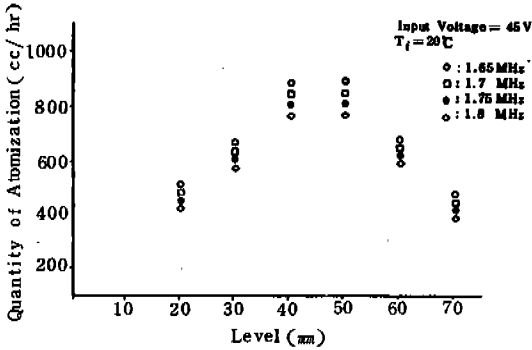


Fig. 4 Quantity of Atomization vs. Level of Fuel Surface of Each Vibrator

Fig. 4는 입력전압을 45 V, 흡입공기의 온도 ( $T_i$ ) 20 °C에서 각 진동자에 대해 유면의 높이를 20 mm에서 70 mm까지 5 mm씩 변화시키면서 측정된 미립화량을 나타낸다. 각 진동자에 대한 유면의 높이에 따른 미립화량은 비슷한 경향을 보이고 있으며 유면의 높이가 40 mm에서 50 mm사이일 때 최대로 나타나고 있는데, 이는 유면의 높이가 40 mm에서 50 mm때 초음파 에너지가 최대로 전달될 때인 것으로 예측되며, 4개의 진동자용 공진주파수가 1.65 MHz일 때 최대미립화량을 나타낸다.

Fig. 5는 유면의 높이를 45 mm, 흡입공기의 온도 20 °C에서 입력전압을 35, 45, 55 V로 변화시켰을 때 각 진동자별 미립화량을 나타낸다. 그림에서 입력전압이 증가할수록 미립화량이 증가함을 알 수 있으며 Fig. 4에 보인 바와 같이 공진주파수가 1.65 MHz인 진동자가 최대 미립화량을 나타낸다.

Fig. 6은 최대 미립화량을 나타내는 공진주파수 1.65 MHz인 진동자에 대하여 흡입공기의 온도를 10 °C에서 40 °C로 변화시키면서 입력전압 35, 45, 55 V일 때 미립화량을 나타낸 것으로, 각각의 입력전압에 대하여 온도가 높아질수록 미립화량이 증가하고 있는데, 이는 흡입공기의 온도가 상승할수록 연료내부의 자유에너지가 커지기 때문이라고 예측된다.

그러나 진동자 및 회로부품의 내구성 및 무화량 등을 고려하여 입력전압을 45 V로 고정하고 실험하였다.

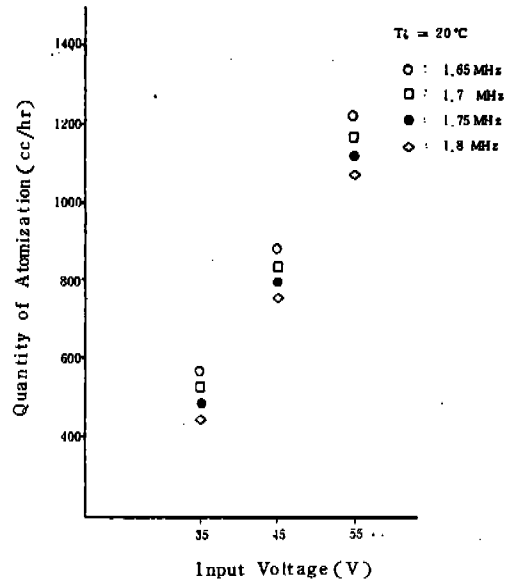


Fig. 5 Quantity of Atomization vs. Input Voltage of Each Vibrator

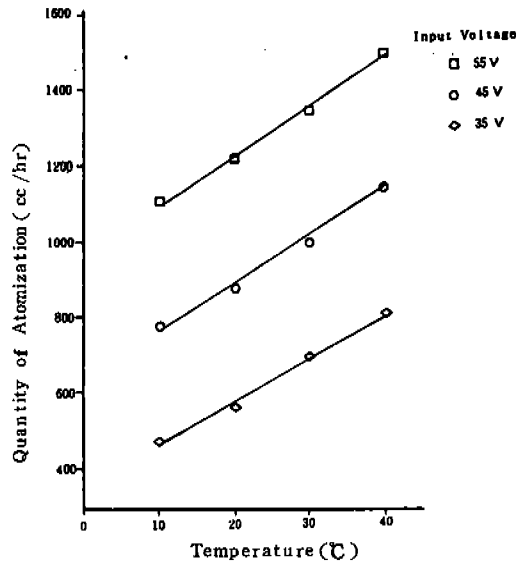


Fig. 6 Quantity of Atomization vs. Intake Air Temperature

### 3-2 초음파 미립화장치에서의 미립화율

Fig. 7과 Fig. 8는 공연비에 따른 미립화율의 변화를 측정기와 컴퓨터를 On-line시켜 측정된 결과로써, 미립화율은 공기의 온도, 유속

및 공연비에 관계없이 99% 이상의 높은 미립화율을 나타내고 있다. 이것은 초음파 미립화장치에서는 기존의 기화기와는 달리 연료를 미립화된 상태로 흡기관으로 보내기 때문이라고 생각된다.

3-3 기존기화기에서의 미립화율

Fig. 9에서 Fig. 12까지는 기존 기화기에서 흡입공기의 온도를 10°C에서 40°C까지 10°C씩 변화시키고, 공기의 유속변화에 따른 공연비별 미립화율을 나타낸다.

미립화율은 온도가 높아짐에 따라 연료의 내부에너지가 증가하여 기화를 촉진하기 때문에 증가하며, 공기유속이 빠를수록 미립화율이 감소하는 것은 Updraft 방식의 기화기이기 때문에 비교적 입경이 큰 입자가 엘보우부분에서 충돌, 부착하여 액막류를 만들기 때문으로 생각된다.

3-4 초음파 미립화장치와 기존기화기와의 미립화율 비교

Fig. 13은 기존기화기와 초음파 미립화장치에서의 미립화율의 차이를 나타낸 것으로 공연비가 작아질수록 그 차이가 커짐을 알 수 있다.

이는 기존기화기에서는 공연비에 따라 많은 차이가 생기나 초음파 미립화장치는 공연비에 따라서 달라지긴 해도 그 차이가 1% 미만인 것으로 되기 때문이다.

3-5 입자의 입경

Photo. 2는 초음파 미립화장치 및 기존기화기를 통과한 입자의 입경을 400배 확대한 사진으로 초음파 미립화장치에서의 연료입경은 1μm~5μm사이이며 기존기화기에서의 연료입경은 80μm~150μm사이이다. 그러므로 초음파 미립화장치를 이용함으로써 연료의 입경이 작은 상태를 얻을 수 있다.

4. 결 론

가솔린기관에 공급되는 연료를 거의 완전

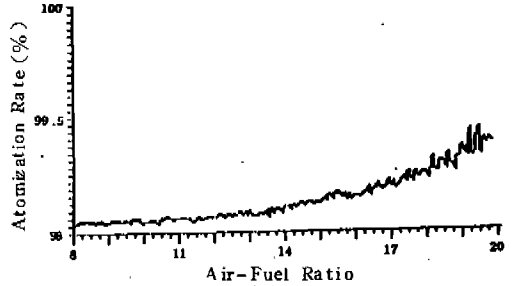


Fig. 7 Atomization Rate vs. Air-Fuel Ratio in the Ultrasonic Atomization Apparatus ( $T_i = 10^\circ\text{C}$ ,  $V = 9 \text{ m/sec}$ )

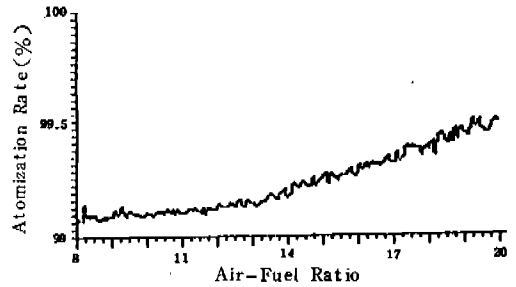


Fig. 8 Atomization Rate vs. Air-Fuel Ratio in the Ultrasonic Atomization Apparatus ( $T_i = 40^\circ\text{C}$ ,  $V = 6 \text{ m/sec}$ )

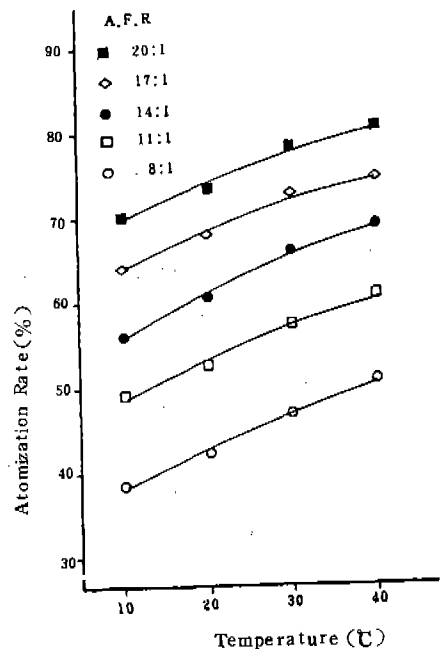


Fig. 9 Atomization Rate vs. Intake Air Temperature in the Commercial Carburetor ( $V = 6 \text{ m/sec}$ )

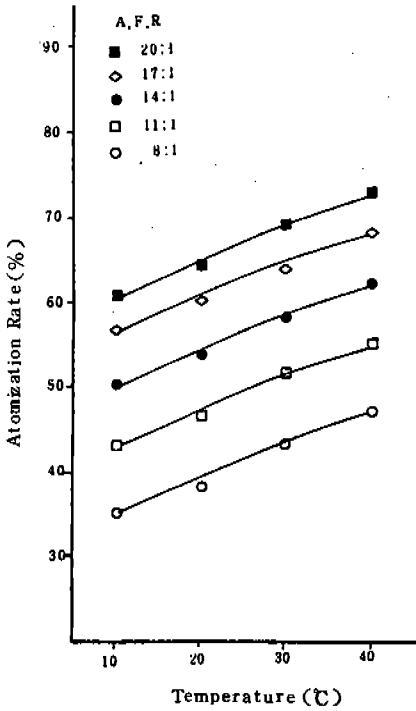


Fig.10 Atomization Rate vs. Intake Air Temperature in the Commercial Carburetor (V = 7 m/sec)

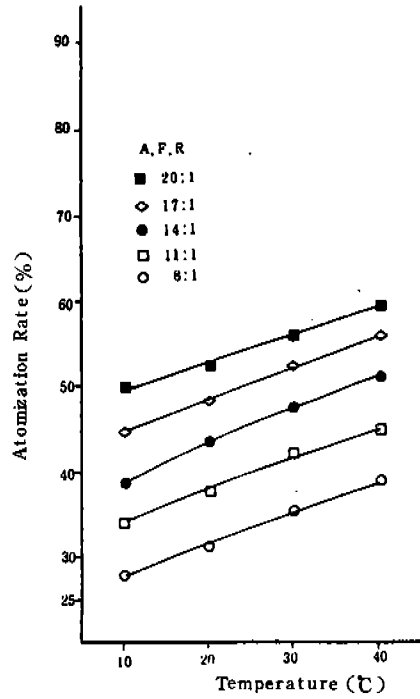


Fig.12 Atomization Rate vs. Intake Air Temperature in the Commercial Carburetor (V = 9 m/sec)

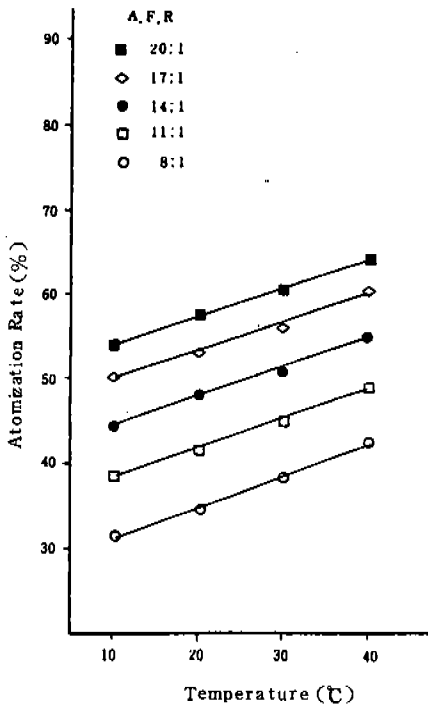


Fig.11 Atomization Rate vs. Intake Air Temperature in the Commercial Carburetor (V = 8 m/sec)

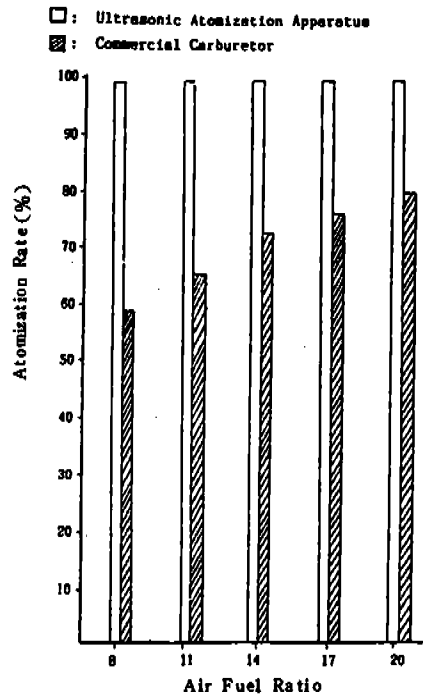


Fig.13 The Difference of Atomization Rate Between Ultrasonic Atomization Apparatus and Commercial Carburetor

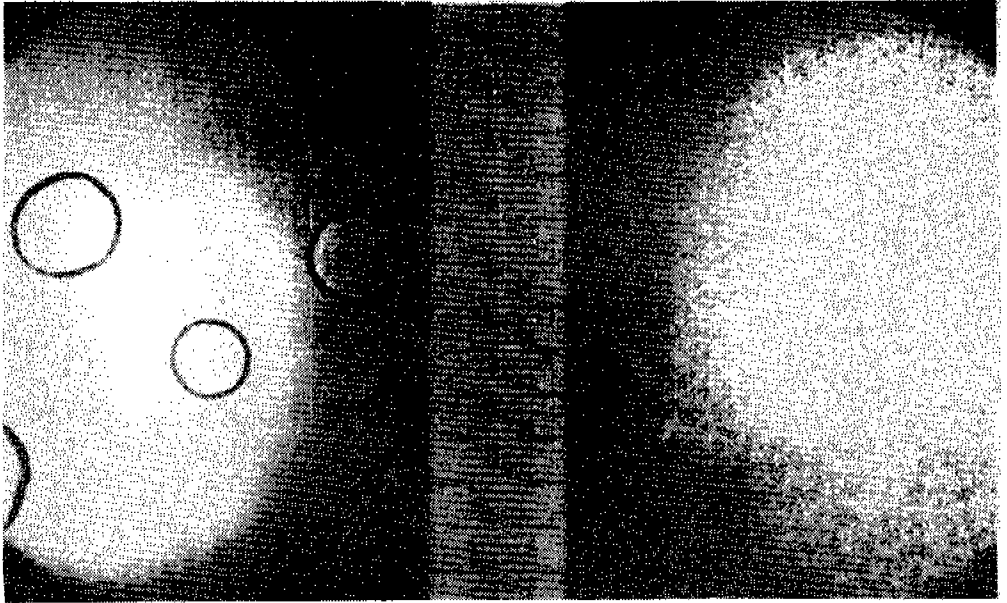


Photo.2 Comparison of Fuel Particle Size

미립화시켜 액막류를 최소로 하며, 흡입공기와 균일혼합함으로써, 연소특성과 배기특성을 개선하려는 연구의 일환으로 초음파미립화장치를 개발하였으며, 이 장치와 기존기화기와의 연료 미립화특성을 비교한 결과 다음과 같다.

1. 4 가지 진동자중 공진주파수가 1.65MHz 인 진동자가 최대 미립화량을 나타낸다.
2. 초음파 미립화장치에서 미립화율은 흡입공기의 온도, 유속 및 공연비에 관계없이 99% 이상의 높은 미립화율을 보인다.
3. 기존기화기에서의 미립화율은 공연비가 증가할수록, 온도가 높을수록 증가한다.
4. 초음파 미립화장치와 기존기화기에서의 미립화율의 차이는 공연비가 작을수록 차이가 커짐을 알 수 있다.
5. 흡기관 밖으로 배출되는 입자의 입경은 초음파 미립화장치에서는 약  $1\mu\text{m} \sim 5\mu\text{m}$ , 기존기화기에서는 약  $80\mu\text{m} \sim 150\mu\text{m}$ 로, 초음파 미립화장치가 성능면에서 우수함을 알 수 있다.

### 참 고 문 헌

1. 葭原和典 : 自動車機關の燃費性能とその評價, 日本機械學會誌, 83卷 744號, 1980.
2. J. F. Schweikert, T. J. Gumbleton : Emission Control With Lean Mixture, SAE Trans., NO. 760226, pp. 1041~1055, 1976.
3. H. K. Newhall : Combustion Process Fundamentals and Combustion Chamber Design for Low Emission, SAE Trans., NO. 751001, pp. 2805~2818, 1975.
4. 日本文部省特定研究 : 自動車エンジンの排氣靜化, 1980.
5. YOSHIAKI ONUMA : Combustion of Fuel Sprays, 內燃機關, Vol. 21, NO. 260, 1982.
6. 박경석 : 흡입연료무화촉진에 의한 가솔린기관 성능향상에 관한 실험적 연구, 인하대학교 박사학위 논문, 1981.
7. 千葉近 : 超音波による液體微粒化の研究, 日本機械學會論文集B編 51卷 471號, 1985.
8. 千葉近 : 超音波振動による液體の微粒化, 日本機械學會論文集B編 45卷 390號, 1979.
9. 權炳澈 : 초음파를 이용한 흡기관내에서의 흡입연료미립화에 관한 실험적 연구, 중



남대학교 석사학위 논문, 1984.

10. TDK Databook

11. 棚澤泰外 1人 : 燃料油粒などの直徑測定用  
受止め液について, 日本機械學會論文集  
(2部), 35卷 276號, pp.1741~1751,

1969.

12. 류정인의 3인 : 기존기화기와 초음파 장치  
의 미립화 특성비교, 한국자동차공학회추  
계 학술강연초록집, 1986. 11.