

<논 문> SAE NO. 96370008

초음파 연료공급장치용 가솔린 분사식 자동차의 저공해화 연구

A study on the Pollution Emissions of the Ultrasonic Fuel Feeding System in Gasoline Injection Vehicle

최 관 호*, 김 봉 석**, 류 정 인***
K. H. Choi, B. S. Kim, J. I. Ryu

ABSTRACT

This study was on the pollution emissions of the Ultrasonic fuel feeding system in gasoline injection vehicle. This work measured the SMD of the fuel, and compared the characteristics through chassis dynamometer and highway road test by the conventional vehicle. And this work measured vacuum degree, turbulence intensity and the rate of fuel consumption according to intake air velocity with swirler.

The results are as followed;

The effects of the vehicle installed the ultrasonic fuel feeding system are better than those of the conventional vehicle.

주요기술용어 : Ultrasonic fuel feeding system(초음파 연료공급장치), Ultrasonic transducer(초음파 진동자), SMD(평균연료입경), Hot wire anemometer(열선풍속계), Turbulence intensity(난류강도), Particle droplet distribution(입자분포)

1. 서 론

자동차의 60% 이상을 차지하는 가솔린 자동차는 배기 공해 배출물인 CO, NO_x, HC를 초저감, 완전 방출 억제 등의 대책을 세워야 할 시점이다. 기존 전자제어 연료분사방식의 가솔린 기

관의 연소 특성을 살펴보면 연소실에 공기를 유입할 때 전자적으로 공기와 연료의 공연비 14.5 : 1로 정한 연료를 분사시키므로서 연료와 공기가 혼합되면서 연소실에 공급된다. 이때 분사된 연료의 입경이 SMD 40 μ m 정도이므로 공기와 연료가 충분히 균질 혼합한 상태가 되지 않는다.^{1),2),3)} 본 실험에서는 연료의 입경을 보다 미세화하는 구체적인 방법으로^{4),5),6),7)} 초음파 에너지를 가장 효율적으로 받을 수 있는 초음파 연료공급장치를 설계, 제작하여 연료에 활성 에너지를 공

* 충남대학교 대학원
** 정회원, 한국에너지 기술연구소
*** 정회원, 충남대학교

급함으로써 현재의 연료분무입경을 더욱 미세화 시키도록 상용의 전자제어 연료분사방식 가솔린 자동차에 장착하여 상용의 자동차와 각종 성능과 배기 유해 가스의 농도 등을 비교하도록^{8), 9), 10), 11), 12)} 측정하였으며, 또한 기관 형상, 즉 흡기 port 및 연소실 형상을 변화시키지 않고 공기의 Swirl을 극대화하는 Swirler를 제작하여 공기 유동 시험 장치를 통해 관내 유동의 Swirl Intensity와 압력 변화를 알아보고 난류강도(Turbulence Intensity)¹³⁾가 어떻게 변하는지 관찰하고 흡기관 입구에 설치하여 고속도로 주행 시험을 통해 연료 소비율이 크게 향상됨을 조사하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 초음파 연료공급장치

초음파 연료공급장치는 연료의 무화를 극대화하기 위하여 연료에 공동현상(Cavitation)¹⁴⁾이 극대화될 수 있는 구조로서 진동자, 혼 및 반사

판으로 구성되어 있다. Fig.1은 제작한 초음파 연료 공급 장치를 나타낸다.

초음파 연료공급장치에 사용되는 발진장치는 Fig.2와 같이 28KHz의 주파수를 발진하여 증폭부에 가해 주는 발진부, 발진된 28KHz 주파수로 진동자를 구동시킬 수 있는 전력으로 증폭해주는 증폭부, 증폭된 구형파 28KHz를 사인파로 바꾸어 임피던스를 정합하여 전액진동자에 가해 주는 정합부로 구성되어 있다.

2.2. 입경 측정 장치

Fig.3은 본 연구에서 입경측정에 사용한 Malvern 미립자 해석기(System 2600 C)의 개략도이다. 이 장치는 직경 9mm, 2mW(633nm wavelength)의 레이저를 발생하는 Transmitter unit와 미립자에 의해 산란된 빛을 검출하는 Receiver unit¹⁵⁾로 구성되어 있다. 연료 입경은 Malvern 미립자 해석기 내에 내장된 함수를 이용하여 미립자 체적을 적분한 값을 표면적으로 적분한 값으로 나눈값인 SMD로 나타내었다.

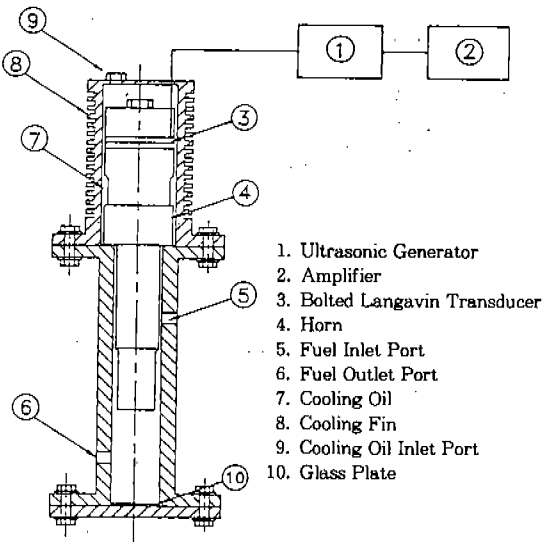


Fig.1 Schematic diagram of the ultrasonic fuel feeding system

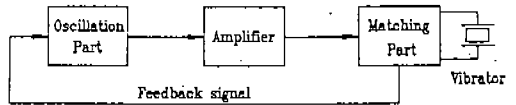


Fig.2 Block diagram of the ultrasonic oscillator

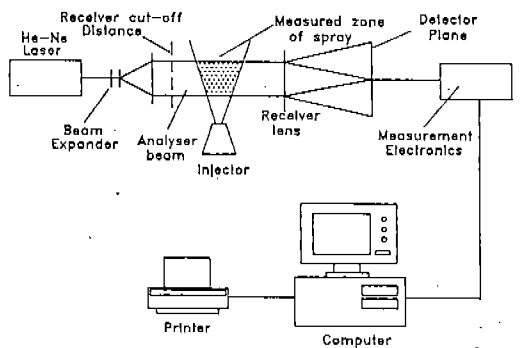


Fig.3 Schematic diagram of the drop size measuring system

2.3 연료 입경 분석

Fig.4는 초음파 연료공급장치를 부착한 인젝터와 기존 연료공급장치의 인젝터에서 연료의 입경, 입자분포 등을 Malvern System 2600C로 측정하기 위한 개략도이다.

또한 가솔린 분사를 위한 장치로 분사제어회로를 구성하였고, Malvern에서 원하는 순간의 입경을 측정하기 위한 External Trigger회로를 제작하였다.

노즐 팁 선단 30mm 부위에 흡기밸브를 반사물로 설치하고 선단으로 부터 65mm, 노즐 중심부로부터 20mm 위치에 빔축을 설치하고 각 측정 조건에서 10회씩 측정하였다.

노즐에서의 분사 시간을 2.5msec하고, 분사 간격을 13.5msec로 하여 분사하였으며 분사 개시후 1.2msec의 지연시간을 둔 지점에서 연료의 분무입경을 측정하였다.

2.4 모형 공기 유동로 실험

공기 유동 실험장치는 Fig.5에서와 같이 송풍기 입구에 내경이 30mm인 아크릴 Tube를 설치하고 Tube안에 Paddle Wheel Anemometer (10122-T2, TSI; USA)와 열선풍속계 (Hot wire anemometer)를 설치하였다.

Paddle Wheel Anemometer 전방 100mm 지점의 중심에 Pitot관을 부착하였으며, 자동차가

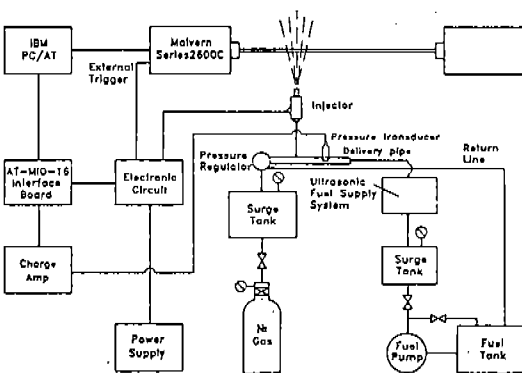


Fig.4 Schematic diagram of the experimental apparatus

실제도로에서 주행시의 가장 민도가 높은 40~160km/h까지 20km/h의 간격으로 하였다. 각 구간의 흡입공기압을 유동속도로 계산하여 9m/sec, 14m/sec, 18m/sec, 23m/sec, 28m/sec, 32m/sec, 37m/sec로 하고 Swirler 각도를 10°, 20°, 30°, 40°, 50°, 60°로 변화시켜 제작하여 Pitot관으로 부터 50mm, 100mm, 150mm, 200mm인 거리에 설치하여 진공도와 열선풍속계를 이용하여 x방향과 y방향의 속도성분을 측정하고 위치하는 ϕ 30mm인 아크릴관 중심으로 부터 20mm간격으로 이동시키면서 11군데 위치에서 난류강도(Intensity of Turbulence)를 측정하였다.

2.5 기관 출력 측정 장치 및 방법

기관 출력 측정은 Bosch사에서 제작한 Chassis Dynamometer(LPS 002)를 사용하였다. 초음파 연료공급장치를 장착한 자동차와 사용 자동차의 경우에 대한 제원은 Table 1에서 보여주고 있으며, 새시 동력계로 기관 출력을 비교하기 위해 차륜의 설정속도를 120km/h로 정하고 가속주행을 하여 설정속도에 이른 후 정속주행 하여 중립기어 상태로 감속한다.

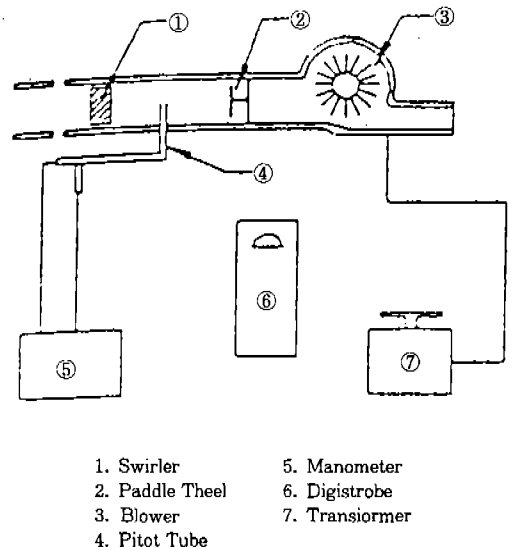


Fig.5 Schematic diagram of vacuum pressure measuring apparatus.

이때 기관출력이 X-Y Re-coder에 의하여 그래프로 기록된다. 그래프에서 양(+)의 값 P_{rad} 는 기관의 여유 마력값이고, 음(-)의 값 P_{loss} 는 손실 마력으로서 새시 동력계의 로올러를 구동하는 마력이고, 기관출력(P_{mot})은 여유마력(P_{rad}) + 손실마력(P_{loss})이 된다.

2.6 초음파 연료공급장치를 부가한 자동차의 연료 소비량 측정

연료 소비량 측정장치는 상용 자동차의 연료탱크를 사용하여 연료센서의 저장값을 Multi Digital Test로 측정하였다.

연료 소비율 측정은 초음파 연료공급장치를 부가한 경우와 상용 자동차에 대해 새시 동력계의 로올러 위에서 주행속도 40km/h, 60km/h, 80km/h로

/h로 20km씩 정속 주행하여 각각의 주행 연료 소비량을 측정하여 주행거리로 나누어 주행 연료 소비율을 계산하였다. 또한 초음파 연료공급장치를 부착한 자동차와 상용 자동차로 총거리 219.5km의 고속도로를 약 80km/h로 정속주행 하면서 약 50km의 구간을 설정해 주행 연료 소비율을 측정하였다.

2.7 Swirler를 장착한 자동차의 연료 소비량 측정

공기의 흐름에 따라 각을 변형시킬 수 있는 가변형 Swirler를 제작하여 Table 2의 제원을 갖는 상용 자동차의 스로틀바디 뒤편의 공기 흡입부에 설치하여 총거리 305.6km의 고속도로를 평균속도 약 100km/h로 주행하여 연료 소비량을 측정하였고, 상용 자동차의 경우도 같은 조건으로 주행하여 연료 소비량을 측정하였다.

2.8 배기가스 측정 장치 및 방법

Sun Co.에서 제작한 형식 MEA-1500 Modular Engine Analyzer는 가솔린 기관에서의 엔진 회전수, 진공도, 배전기 전압, 드웰, HC, CO 배기 매연 수준 등을 측정하는 장치이다. 이 장치는 엔진 스코프파형 스크린, 데이터 디지털부, 원격조정기, 내장컴퓨터, 프린터 등으로 구성되어 있다.

배기가스 분석 실험은 초음파 연료공급장치를 부착한 경우와 상용 자동차의 경우에 대해서 측정하였으며, 기관회전수를 750rpm, 1,000rpm, 1,500rpm, 2,000rpm, 2,500rpm, 3,000rpm으로 정속 운전하면서 측정하였다.

Table 1 Specification of test Vehicle

Contents	Specification
Type	Water-cooled, 4 cycle stroke 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
Driving type	Front drive

Table 2 Specification of test Vehicle

Contents	Specification
Type	Water-cooled, 4 cycle stroke 4 cylinder gasoline engine
Actuated mechanism	SOHC
Bore×Stroke(mm)	78×78.4
Piston displacement(CC)	1,498
Ignition timing	BTDC 7° ±1° /700rpm
Max. Output(hp/rpm)	92/5,500
Compression ratio	9.4 : 1
Driving type	Front drive

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 연료 입경 측정

기존 연료 인젝터에서의 연료 분사압력이 3.5 kg/cm일때 연료입자의 분포를 보면 기체 상태의 특성을 갖는 SMD 20 μ m 이하의 입경분포율이 Table 3에서와 같이 2.2% 정도로 나타났다.

초음파 연료공급장치의 인젝터에서 연료분사압력이 3.5kg/cm일때 연료입자의 분포를 보면

Table 3 Relatio of SMD and distribution(%)

MALVERN Series 2600 SB.09 Master Mode Wed 7 Sep 1994 7 : 05 am

High Under Size %	High Under Size %	High Under Size %	High Under Size %	High Under Size %	High Under Size %
564 100	254 47.5	114 19.3	51.3 7.3	23.1 2.7	10.4 0.9
524 94.7	236 43.9	106 17.7	47.7 6.7	21.4 2.4	9.64 0.8
488 89.4	219 40.6	98.6 16.2	44.4 6.1	19.9 2.2	8.97 0.8
454 84.2	204 37.5	91.7 14.9	41.2 5.6	18.5 2.0	8.34 0.7
422 79.1	190 34.6	85.3 13.6	38.4 5.1	17.2 1.8	7.76 0.6
392 74.0	176 31.9	79.3 12.5	35.7 4.6	16.0 1.7	7.21 0.6
365 69.1	164 29.4	73.8 11.4	33.2 4.2	14.9 1.5	6.71 0.5
339 64.4	153 27.1	68.6 10.4	30.8 3.9	13.9 1.4	6.24 0.4
315 59.8	142 24.9	63.8 9.6	28.7 3.5	12.9 1.2	5.80 0.4
293 55.5	132 22.9	59.3 8.7	26.7 3.2	12.0 1.1	
273 51.3	123 21.0	55.2 8.0	24.8 2.9	11.2 1.0	SMD 111.96 μ m

Table 4 Relation of SMD and distribution(%)

MALVERN Series 2600 SB.09 Master Mode Wed 7 Sep 1994 7 : 05 am

High Under Size %	High Under Size %	High Under Size %	High Under Size %	High Under Size %	High Under Size %
564 100	254 100	114 100	51.3 90.9	23.1 50.9	10.4 18.6
524 100	236 100	106 99.9	47.7 88.3	21.4 47.1	9.64 16.8
488 100	219 100	98.6 99.8	44.4 85.4	19.9 43.4	8.97 15.1
454 100	204 100	91.7 99.7	41.2 82.1	18.5 39.9	8.34 13.5
422 100	190 100	85.3 99.4	38.4 78.6	17.2 36.6	7.76 12.1
392 100	176 100	79.3 99.0	35.7 74.9	16.0 33.5	7.21 10.8
365 100	164 100	73.8 98.4	33.2 71.0	14.9 30.5	6.71 9.6
339 100	153 100	68.6 97.5	30.8 67.0	13.9 27.8	6.24 8.6
315 100	142 100	63.8 96.4	28.7 62.9	12.9 25.2	5.80 7.6
293 100	132 100	59.3 94.9	26.7 58.9	12.0 22.8	
273 100	123 100	55.2 93.1	24.8 54.9	11.2 20.6	SMD 13.54 μ m

SMD 20 μ m의 입경이 Table 4처럼 43.4%로 나타났다.

따라서 기존 연료 인젝터와 비교할 때 초음파 연료공급장의 인젝터에서 SMD 20 μ m이하의 입경이 20배 이상 증가하고 있음을 알 수 있으며, 이와 같이 초음파 에너지가 연료의 무화 특성을 향상시키는데 매우 기여하고 있다.^{4),17)}

3.2 모형 공기 유도로에 의한 난류강도 측정

일반적으로 흡입공기의 유속이 증가하면 진공도가 증가하게 된다.¹⁶⁾ Fig.6에서는 Swirler의 각도가 10°, 20°, 30°에서는 유속의 증가에 따른 진공도의 영향이 적으나 40°, 50°, 60°에서는 큰 폭으로 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 속도가 140km/h를 넘게되면 40°, 50°, 60°에서

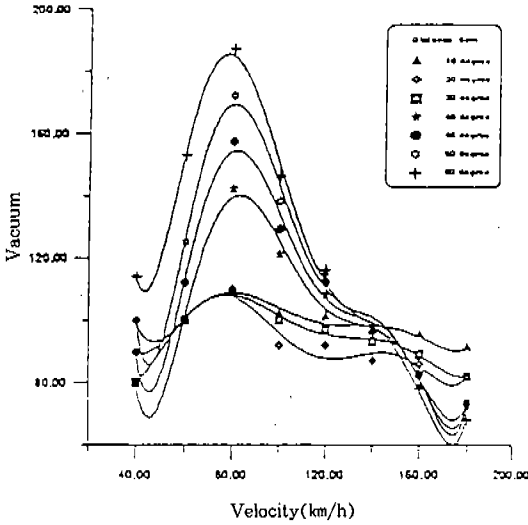


Fig.6 Relation velocity and vacuum along the Swirl angle.

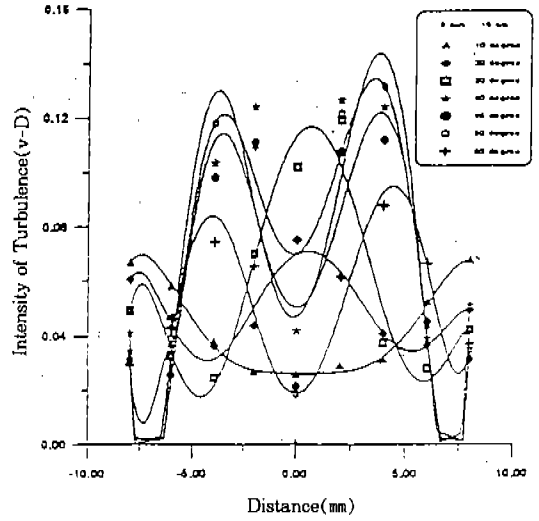


Fig.7 Turbulence intensity(v-D) along the Swirl angle at 9m/s, 15cm

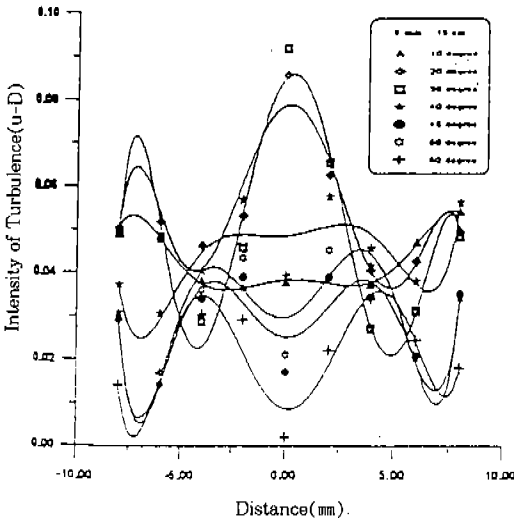


Fig.8 Turbulence intensity(u-D) along the Swirl angle at 9m/s, 15cm

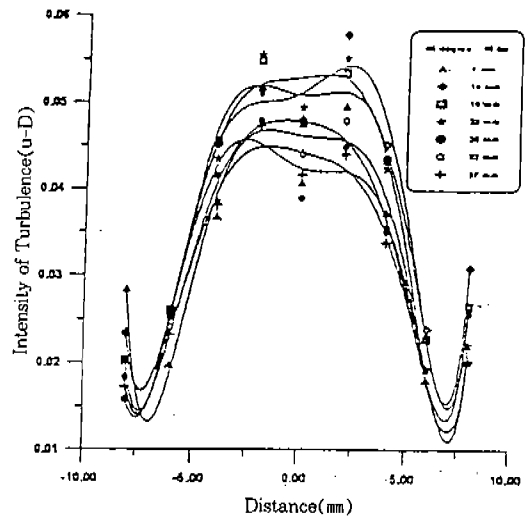


Fig.9 Turbulence intensity(u-D) along the flow velocity at 45 degree, 10cm

도 진공도가 작아지는 경향을 보이는데, 이는 y 축 방향의 선회와 난류성분이 x축 방향의 유속에 의해 소멸되기 때문으로 사료된다.

Fig.7.와 Fig.8.은 축정거리를 15cm에서, 유체의 속도를 9m/s로 하였을때 각각의 각도에 대해 x축 방향의 속도와 u와 y축 방향의 속도 v를 측

정하여 난류강도를 구한 그림이다. 여기에서도 45°~60°에서 난류강도가 크게 증가하고 있는 것을 볼 수 있으며 특히 1/4인 지점에서 선회로 인한 y방향의 속도가 증가하여 난류강도가 큰 쪽으로 증가하는 것을 알 수 있다.

Fig.9와 Fig.10은 10cm인 지점에 45°의 Swi-

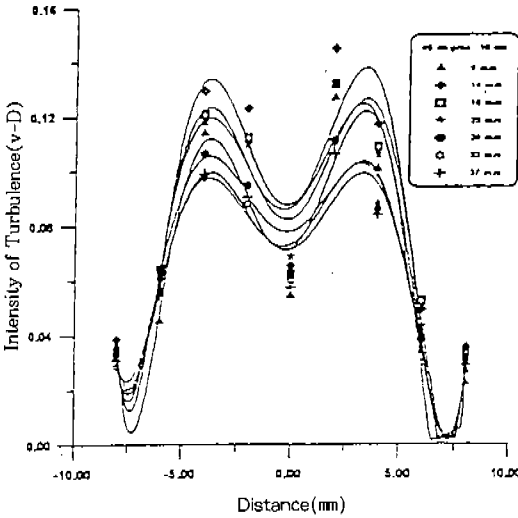


Fig.10 Turbulence intensity(u-D) along the flow velocity at 45 degree, 10cm

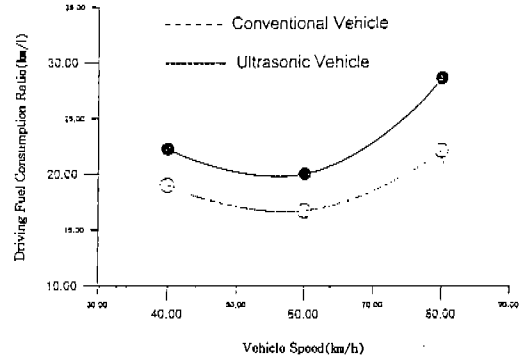


Fig.12 Relation of Driving Fuel Consumption Ratio vs. Vehicle Speed(Chassis Dynamometer Test)

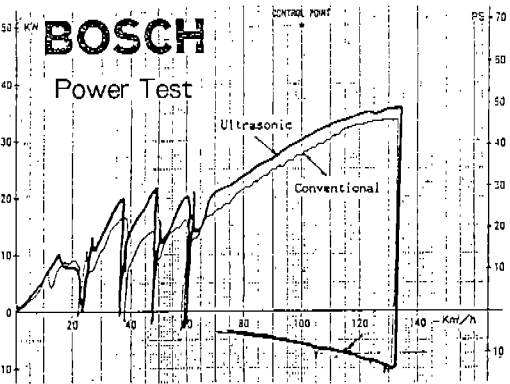


Fig.11 Performance Diagram of Chassis Dynamometer Test

를 설치하여 각각의 유체의 속도에 대해 측정 한 그림이다.

x와 y방향에 대해 선회가 유속에 대해 큰 차 이 없이 항상 난류강도가 크게 나타남을 볼 수 있다.

따라서 공기와 연료의 혼합에 가장 좋은 효과를 볼 수 있는 구간은 60~120km/h의 속도에서 Swirler의 각도가 40°~60°를 유지할 때이다.

3.3 기관출력

Fig.11은 초음파 연료공급장치 자동차와 상용 자동차를 새시 동력계에서 설정 속도 120km/h 까지 가속 주행하면서 측정한 Power Test의 결과이다.

그림에서와 같이 초음파 연료공급장치 자동차의 여유 출력값이 증가하였는데 설정속도인 120 km/h에서의 값은 46.7 PS이며 상용 자동차의 값은 43.3 PS로 7.9%가 증가하였다.

초음파 연료공급장치 자동차의 기관출력이 증가한 이유는 초음파 에너지를 받아 활성화된 연료가 연소실내에 미세하고 고르게 분사되어 연소가 촉진되었기 때문이다.^{2),8),9)}

3.4 초음파 연료공급장치를 부가한 자동차의 주행 연료 소비율

Fig.12는 새시 동력계의 로울러 위에서 초음파 연료공급장치 자동차와 상용 자동차를 40km/h, 60km/h, 80km/h로 정속 주행하여 나타난 주행 연료소비율의 결과이다.

초음파 연료공급장치 자동차의 주행 연료 소비율이 40km/h에서 17%, 60km/h에서는 20% 그리고 80km/h에서는 29%가 향상되었다.

Table 5은 초음파 연료공급장치 자동차와 상용 자동차를 고속도로에서 정속주행 하면서 대략 50km/h 마다 주행 연료소비량을 측정한 것이다.

Table 5 Highway Road Test with Ultrasonic Fuel Feeding System

Starting Point	Arrival Point	Distance of Section (km)	Time Required (minute)	Quantity of Consumed Fuel(ℓ)	Fuel Consumption Ratio(km/ℓ)	Average Speed (km/h)
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	78.3
			*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

* Vehicle of Ultrasonic Fuel Feeding System

Table 6 Highway Road Test with Swirler

Starting Point	Arrival Point	Distance of Section (km)	Time Required (minute)	Quantity of Consumed Fuel(ℓ)	Fuel Consumption Ratio(km/ℓ)	Average Speed (km/h)
Yu Seong	Jeong Ju	106.6	59	8.2	13.0	108.41
		*106.9	*58	*6.54	*16.2	*110.59
Jeong Ju	Kwang Ju	45.7	27	3.1	14.74	101.56
		*44.6	*25	*2.76	*16.93	*107.04
Kwang Ju	Jeong Ju	44.65	26	2.5	17.86	103.04
		*44.55	*26	*2.5	*17.86	*102.81
Jeong Ju	Yu Seong	108.65	61	6.6	16.34	106.87
		*107.2	*63	*6.2	*17.29	*102.1
Total		305.6	173	20.4	14.98	105
		*303.25	*172	*18.0	*17.609	*105.635

* Vehicle of Swirler

초음파 연료공급장치 자동차의 경우가 약 10%의 연료가 절감되었다.

이와 같이 초음파 연료공급장치 자동차의 주행 연료소비량이 적은 이유는 초음파 에너지를 받은 연료가 미세한 입자로 무화되어 연소실에 공급되므로 연소효율이 향상되어 주행 연료소비가 적게 되었기 때문이다.

3.5 Swirler를 장착한 자동차의 연료 소비량 측정

Table 6는 Swirler를 장착한 자동차와 상용 자동차를 고속도로에서 약 100km/h로 정속주행 하면서 일정한 구간에서 주행 연료소비량을 측정 한 것이다. Swirler를 장착한 자동차의 경우가 약 11.76%의 연료가 절감되었으며, 주행 연비

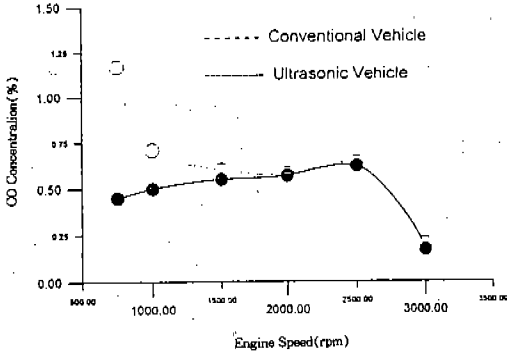


Fig.13 Relation of CO Concentration vs. Engine Speed

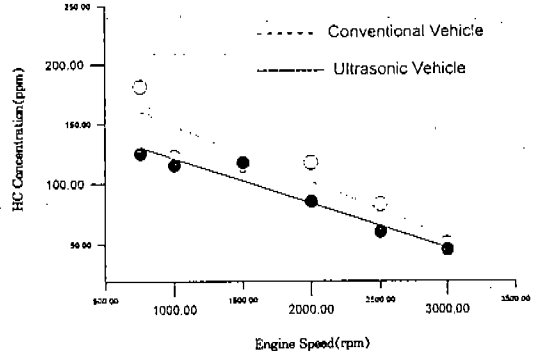


Fig.14 Relation of HC Concentration vs. Engine Speed

에서도 17.55%의 향상을 보여주고 있다.

이와 같이 공기 흡입구에 가변형의 Swirler를 장착함으로써 공기의 유속에 따라 각도를 변화시켜 흡입공기에 선회와 난류강도가 증가되고, 이에 공기와 연료가 빠른 시간에 균일하게 혼합되어 연소효율을 향상시켜 연료소비의 절감을 가져온 것으로 사료된다.

3.6 배기 가스

Fig.13은 초음파 연료공급장치 자동차와 상용 자동차의 기관 회전수에 대한 CO가스 배출량의 관계를 나타낸 것이다. CO가스량을 비교하면 초음파 연료공급장치 자동차가 750rpm에서 64%, 1,000rpm에서 30%, 1,500rpm에서 7%, 2,000~3,000rpm에서 6%정도가 감소함을 나타내고 있다.

Fig.14는 HC 가스 배출량의 관계를 나타낸 것으로 초음파 연료공급장치 자동차가 750rpm에서 32%, 1,000rpm에서 6%, 1,500rpm에서 6%, 2,000에서 20%, 2,500rpm에서 30%, 3,000rpm에서 11% 정도가 감소함을 나타내고 있다.

이와 같이 초음파 연료공급장치 자동차의 CO·HC 가스량이 적게 배출되는 것은 연료 입자의 미세화에 기인한 연소 효율의 향상에 있기 때문이고 기관이 고속으로 운전할 때 보다 저속으로 운전할 때 큰 효과가 있는 것은 초음파 에너지가

충분히 공급되었기 때문이다.

4. 결 론

본 실험은 초음파 연료공급장치용 가솔린 분사식 자동차의 저공해화에 관한 실험으로 연료의 분무입경을 측정하였고, 이를 상용 자동차에 부착하여 각종 성능을 새시동력계와 고속도로 주행시험을 통하여 비교하였으며, 또한 Swirler를 제작하여 흡입공기의 유속에 따른 진공도와 난류강도를 측정하였고, 상용 자동차에 장착하여 고속도로 주행시험을 통하여 연료소비율을 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 초음파 연료공급장치를 부가한 경우가 연료평균입경(SMD)에서 20 μ m 이하의 분포도가 약 20배 이상 향상되었다.
- 2) Swirler의 각도와 흡입공기의 유속이 증가함에 따라 진공도와 난류강도가 증가된다.
- 3) 새시동력계로 기관의 출력을 측정한 결과 초음파 연료공급장치를 부착한 자동차가 약 7~14% 정도 향상되었다.
- 4) 초음파 연료공급장치를 부가한 자동차를 새시동력계에서 연료소비율을 측정한 결과 약 17~29%의 연료 절감을 가져왔다.
- 5) 초음파 연료공급장치를 부가한 자동차의 고속도로 주행시험으로 연료소비율을 측정 한 결과 약 10% 절감 효과를 가져왔다.

- 6) Swirler를 장착한 자동차의 고속도로 주행 시험에서도 약 11.76%의 연료소비량 감소시켰다.
- 7) 기관 회전수를 750rpm부터 3000rpm까지 정속 운전하면서 배기가스를 측정 한 결과 초음파 연료공급장치를 부가한 자동차가 CO 가스량은 약 6~64% 정도 감소하였고, 또한 HC 가스량은 약 6~32%가 감소하였다.

후 기

“본 연구는 1994년도 교육부 학술연구조성비(기계공학 : MF. 94-F-08)에 의하여 연속되었음”

참 고 문 헌

1. 류정인의 3인, “가솔린기관용 초음파미립화 장치의 타당성에 관한 연구(I)”, 한국자동차공학회지 9(4), 1987
2. 류정인, “초음파를 이용한 흡입연료의 미립화 성능에 관한 연구”, 충남대학교 산업기술연구소 논문집 2(1), 1987
3. 류정인외 2인, “가솔린기관용 초음파미립화 장치의 타당성에 관한 연구(II)”, 충남대학교 산업기술연구소 논문집 4(2), 1989
4. 千葉近, “超音波噴霧”, 山海堂, 1991
5. 류정인, “액체연료의 미립화 기술(1)”, 한국자동차공학회지 15(4), 1993
6. 류정인, “액체연료의 미립화 기술(2)”, 한국자동차공학회지 15(5), 1993
7. 전홍신, “TBI 분사밸브의 분무특성의 개선에 관한 연구”, 한국미립화연구회지, 1992
8. 류정인외 2인, “초음파 진동에 의한 디젤기관의 성능향상”, 한국자동차공학회지 13(6), 1991
9. 류정인, “초음파 연료공급장치를 이용한 디젤기관의 성능향상에 관한 연구”, 제7회 에너지기술 워킹 논문집, 한국에너지기술연구소, X1-65-77, 1992
10. 류정인의 2인, “초음파 연료공급장치용 디젤자동차의 성능향상에 관한 연구(I)”, 한국자동차공학회논문집, 2(1), 1994
11. 류정인, “초음파 연료공급장치용 디젤자동차의 성능향상에 관한 연구(III)”, 한국자동차공학회논문집, 16(1), 1994
12. 류정인, “초음파 연료공급장치용 디젤자동차의 성능향상에 관한 연구(IV)”, 한국자동차공학회논문집, 16(3), 1994
13. F. Prandle et al., “Turbulent Air Flow in the Combustion Bowl of a D. I. Diesel Engine Performance”, SAE. Trans vol. 79, No. 790040
14. B. E Hoiting, “Cavitation produced by ultrasonic”, Pro. Phys. Soc, 64B, 1951
15. Manual : “System 2600 - Instruction Manual”, Malvern Instruments Ltd.
16. J. M Beer & N. A Chiger, “Combustion Aerodynamics”, John Wiley & Sons Inc, pp. 100~130, 1972
17. 島川正憲, “超音波工學”, 工業調査會, 1975
18. T. J. Williams and M. J. Tindol, “Gas Flow Studies in D. I. diesel Engine with Re-Entrant Combustion Chambers”, SAE, Trans vol. 80, No. 800027
19. 廣安轉之外 2人, “デ イーセ ル噴霧弁による高粘度液體の微粒化”, 日本機械學會誌(B編), 51卷, 470號
20. 廣安轉之外 1人, “デ イーセ ル噴霧の到達距離と噴霧角”, 日本機械學會誌, No.21, 1980