

일점연료분사시스템의 연료분사밸브로서 2유체 분사밸브의 이용

The Application of Twin-Fluid Atomizer to Single Point Injection System

전 홍 신*
Heung Shin Jeon

1. 서 언

종래 자동차용 가솔린기관의 연료공급장치로서 사용되어온 기화기로서는 넓은 운전조건에서 항상 공연비 조절 및 각 실린더마다 균일한 혼합기 분배를 이룰 수 없을 뿐만 아니라, 이로 인하여 엔진의 출력저하, 연료소비율의 증대, 배기가스의 성능저하, 진동의 증대, 흡배기밸브의 손상, 점화플러그의 손상 등 부품수명의 단축의 원인이 되어왔다.

한편 자동차 배출가스에 의한 환경오염이 점차 심화된 요즈음에 있어서, 종래 사용되어온 기화기로서는 유해배출가스의 규제치에 맞추기 어렵기 때문에 배출가스의 공해방지를 위한 연구가 급격히 진전되어 공연비조절 및 혼합기분배를 정밀히 콘트롤 할 수 있는 자동차엔진의 전자제어방식을 개발하여 채용되고 있다. 그 중에서도 주로 사용되고 있는 것은 FBC(Feed Back Carburetor)방식, MPI(Multi-Point Injection)방식 및 SPI(Single-Point Injection)방식이 있다. 이 중에서도 특히 전자제어 다점연료분사시스템(MPI)은, 기화기식과는 달리, 컴퓨터의 지시에 따라 연료유량을 가감하고 또 연료분사밸브가 각 실린더마다 설치되었기 때문에 적절한 혼합기를 실린

내로 공급할 수 있어 기관성능 향상은 물론 연소상태 및 배기특성도 개선시킬 수 있다. 더우기 연료를 흡입밸브 주위에 직접 분사하기 때문에 과도운전시 연료의 응답지연이 일어나지 않아 과도운전의 연료공급특성도 크게 개선된다.

그러나 이 MPI 방식에 사용된 분사밸브는 압력분사밸브이기 때문에, 아이들링시와 같이 연료공급유량이 적을 때 연료의 분사압을 일정히 하여 분사밸브의 개폐시간으로 연료유량을 결정하는 압력분사방식으로서의 미량연료공급특성을 높이는 것이 곤란하다. 더구나 코스트면에서 MPI 방식은, 기화기식도 전자제어장치의 부가에 의하여 가격상승은 되어 있지만 아직 기화기식에 비하여 불리하다.

최근 MPI 방식을 더욱 개선할 목적으로 전자제어 일점연료분사시스템(SPI 방식)으로 대체할 연구가 행하여지고 있다. 이 SPI 방식은 종래 기화기가 놓여있는 위치에 분사밸브를 설치하여 연료를 분사하는 방식이다. SPI 방식의 연료유량 조절 방식은 MPI 방식과는 달리, 분사밸브의 개폐시간 및 분사빈도에 의하여 조절하기 때문에 컴퓨터제어가 쉽고, 또 일점분사이기 때문에 아이들링시의 미량 연료공급성능이 좋다. 또한 분사밸브의 수가 줄어지므로 코

* 정희원, 경희대학교 기계공학과

스트면에서도 상당히 유리한 장점이 있다. 그러나 SPI 방식은 배치위치가 기화기식과 유사하므로 불균일한 혼합기분배 및 과도운전시의 응답특성의 저하가 일어날 우려가 있다.

본고에서는 일점연료분사시스템의 문제점을 해결하는 방안 및 장래 유망하다고 보여지는 희박혼합기상태에서 연소상태의 개선을 목적으로, 연료분사밸브로서 미립화특성이 좋은 2유체 분사밸브를 사용하기 위하여 기술하고자 한다.

2. 일점연료분사시스템의 개발현황과 문제점

일점연료분사시스템은 1979년 미국 FORD사¹⁾, GM사²⁾에 의하여 소개된 후 일본의 MITSUBISHI사³⁾와 미국의 CHRYSLER사⁴⁾에 의하여 계속해서 연구개발되어 왔다. 그의 BENDIX사, BOSCH사, HITACHI사 등에서도 독자적인 일점연료분사시스템을 개발하여 왔지만⁵⁾, 아직 개발 초기단계이기 때문에 각사에서 개발되고 있는 것도 각각 다르다. 특히 각사의 분사시스템의 제어방법이나 시스템의 설계는 분사밸브의 수, 흡기관내 설치되어 있는 분사밸브의 위치, 연료분사압, 연료펌프 및 흡입공기량의 측정방법 등에 따라서 크게 다르다. 표 1은 각사에서 개발된 일점연료 분사시

스템을 표시하였다.

(1) 분사밸브의 수

분사밸브의 수는 1개 또는 2개이다. 2개를 사용하는 것은 분사밸브의 개폐빈도를 떨어뜨림과 연료공급을 보다 연속적으로 하여 각 실린더마다 혼합기분배를 좋게하기 위해서이다.

(2) 분사밸브의 분사위치

표 1에 나타난 각사의 분사밸브의 설치위치는 스로틀밸브 전방이지만 그 외 BOSCH사, HITACHI사에서 개발된 것은 스로틀밸브 후방에 설치되어 있다. 스로틀밸브 개도가 클때는 분사밸브의 분사위치가 각 실린더마다 최대공연비의 차이에 미치는 영향은 그다지 없지만, 스로틀밸브 개도가 작은 경우는 분사밸브의 위치가 전방에 있는 것이 유리하다. 이것은 스로틀밸브에 의하여 연료의 재미립화 및 연료와 공기와의 혼합을 촉진시키기 때문이다. 한편 아이들링시의 기관안정성은 분사밸브의 위치가 전방에 있는 쪽이 나쁘다. 이것은 주로 스로틀밸브에 연료가 충돌하여 흡기관내 액막성 연료를 형성하고, 이 연료흐름이 간헐적으로 되기 때문이다. 또 이와 같이 액막성연료가 형성되면 실린더으로의 연료수송지연이 일어나므로 과도운전시의 응답특성도 떨어진다.

(3) 연료분사압

일점연료분사시스템에 사용되고 있는 분사밸브는 다점연료분사시스템에 사용되고 있는

Table 1. Comparison of Single Point Fuel Injection Systems in Production

Engine	GM		Ford	Chrysler	Mitsubishi
	V-8	L-4	V-8	V-8	L-4
Injector(s)	2 Bottom feed	1 Bottom feed	2 Top feed	Spray bars with fuel flow sensor	2 Top feed
Injector position	Above the throttle valve		Above the throttle valve	Above the throttle valve	Above the throttle valve
Fuel pressure	low (70 kPa)		High (270 kPa)	Variable (145-415 kPa)	High (270 kPa)
Fuel pump	Twinturbine pump		roller cell turbine pump	Triple turbine pump	roller cell turbine pump
Intake air metering	Speed density		Speed density	Air flow meter (Vortex)	Air flow meter (Vortex)
	TBI		CFI	TBI	ECI

분사밸브와 마찬가지로 압력분사밸브이다. 이와 같은 압력분사밸브는 분사압력이 연료의 미립화특성이나 고온작동시의 각종 성능에 영향을 주기 때문에 일반적으로 분사압이 높은 쪽이 우수하다. 그러나 고분사압력시스템은 고압의 연료펌프를 필요로 하고, 아이들링 운전시의 미량 연료공급특성이 떨어진다. GM사는 특히 아이들링 운전시의 미량 연료공급특성을 향상시키기 위하여 연료분사압을 70 kPa로 떨어뜨리고 있지만 저분사압에서는 기관을 고온상태에서 재시동할 때에 vapor lock이 발생하기 쉬워진다.

(4) 흡입공기량의 측정방법

흡입공기량을 측정하는 방법은 흡입공기의 입력, 온도, 체적효율에서 계산에 의하여 구하는 방법과 흡입공기량을 흡기관내에서 직접 Air flow meter로 측정하는 방법으로 나누어진다. 직접 흡입공기량을 측정하는 방법은 배인방식과 카르만외방식이 있다. 예를 들면 카르만외방식은 흡기관중에 장애물을 설치하여 카르만외력이 발생할 때 이 와를 초음파변조에 의한 수를 세므로써 공기의 유량을 측정한다. 코스트면에서는 흡기공기의 압력, 온도 등을 측정하여 계산하는 Speed density 쪽이 Air flow meter 보다는 훨씬 유리하다.

그의 SPI 방식의 분사밸브는 Dynamic range(최소연료공급유량에 대한 최대연료공급유량과의 비, Q_{max}/Q_{min})가 MPI 방식의 것보다 작고, 특히 결점으로써 SPI 방식은 불균일한 혼합기분배 및 과도운전시의 응답특성의 저하가 일어날 우려가 있는 것이 지적되고 있다.

이상 기술한 점을 고려하면 각 사가 채택한 방법은 각각 입장일단이 있고 어떤 점에 중점을 두는가에 따라서 다르다. 더우기 자동차의 전성능에 대하여 어떤 시스템이 가장 우수한 것인가는 아직 분명하지 않다.

3. 연료분사장치의 개발동향

기화기에서 분출된 연료는 대부분이 실린더에 도달하기 전에 흡기관벽에 부착하는 것은 피할 수 없고, 부착과 더불어 액막상 연료가

흡기관내에 존재하게 된다. 이 액막상 연료의 존재는 각 실린더마다 혼합기분배의 불균일성의 주요한 원인이 되므로 액막류의 비율을 저감하는 것이 혼합기분배의 향상을 위한 주요한 목표라고 말할 수 있다.

연료분무의 흡기관내 벽면부착은 흡기관 및 기화기 각 부의 구조나 취급하는 방법, 혼합기 형성 방법 등을 개량하면 어느정도 저감할 수 있지만, 일반적으로 공급연료의 분무입경이 작을수록 부착량이 감소하는 것은 명확하므로 먼저 양호한 분무를 만드는 것이 문제해결의 근본이라 하겠다. 연료분무의 관벽부착에 대한 해석적인 연구결과에 의하면, 분열된 액적은 초기에는 액적의 운동량에 의하여 진행되지만 그 후는 공기류의 난류확산 및 액적의 농도구배에 의하여 벽면으로 수송되고, 연료분무 액적의 크기가 $20 \mu\text{m}$ 이하이면 액막류의 저감은 물론 혼합기분배의 향상을 가져온다.⁶⁾

따라서 가솔린기관의 연료공급장치로서 Trayser⁷⁾들은 기화기 대신에 양호한 미립화특성을 얻어 혼합기분배의 개선 및 희박혼합기의 연소상태의 개선을 목적으로 초음파에 의한 분무기, 회전원반에 의한 분무기 및 고속기류에 의한 분무기를 제안하였다.

3.1 초음파에 의한 분무기

초음파진동을 하는 고체면에 액체(연료)를 공급하면 액면에 규칙적인 파렬이 발생하여 파의 정상에서 미립을 발생한다. 이 원리에 근거한 미립화장치를 초음파분무기(Ultrasonic atomizer)라고 한다. 초음파 진동자에는 자외식진동자(VBX)와 전외식진동자(VPX)가 있다. 그림 1에 전외식진동자(piezoelectric crystal)를 사용한 초음파분무기의 일예의 구성요소를 나타내었다. 초음파 분무기에 의한 분무액적의 크기는 주파수와 진동모드에 관련이 있고, 주파수가 80~100kHz이면 평균입경이 $20 \mu\text{m}$ 정도의 분무를 생성한다.⁸⁾

초음파에 의한 미립화의 연구가 주목받은 것은 오래된 것으로, 비교적 구조가 간단하고 부하에너지가 작은 장점이 있어 현재는 가습기

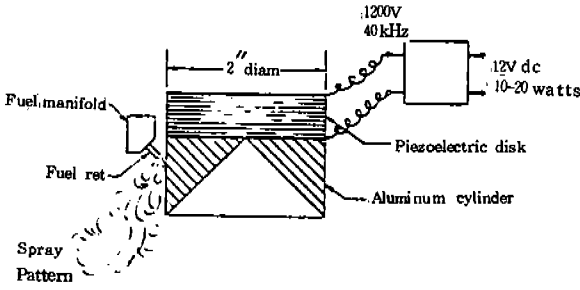


Fig. 1 Piezoelectric ultrasonic atomizer

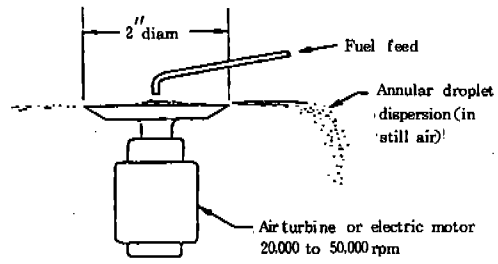


Fig. 3 Spinning-disk atomizer

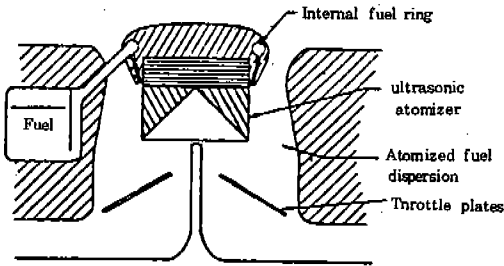


Fig. 2 Fixed-geometry carburetor with ultrasonic atomizer

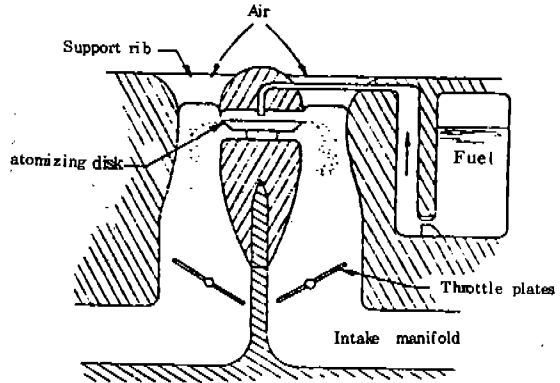


Fig. 4 Arrangement of spinning-disk atomizer in carburetor

등으로 실용화되어 있다. 따라서 초음파분무기를 자동차의 연료공급장치로써 채용할 연구가 많이 행하여지고 있고, 이에 대한 기초연구도 많이 되어있다. 그러나 실용화에 이르기까지는 초음파 진동면의 형상이나 배치, 연료공급방법, 유량변화에 대한 추종성 등 아직 많은 문제점이 남아 있다. 그림 2는 기화기가 설치된 위치에 초음파에 의한 분무기를 설치할 때의 가상도를 나타내었다.

3.2 회전원반에 의한 분무기

회전원반이나 회전컵에 의한 분무기(Spinning disk atomizer)는 액체를 원심력에 의하여 가속시켜 미립화하기 때문에 높은 압력을 주지 않고 액류를 고속으로 할 수 있다. 회전원반에 의한 미립화특성은 공급액체량 및 회전속도에 의하여 다르다. 그림 3 및 4에 회전원반에 의한 분무기 및 이것을 기화기 대신에 연료공급장치로서 흡기관내 설치하였을 때를 나타내었다.

회전식분무기는 유량조절 범위가 넓고, 발생

입자는 그다지 작지는 않지만 비교적 균일한 특징을 갖고 있다. 그러나 원판을 회전시킬 장치와 동력을 필요로 하고 구조가 간단하지 않은 단점이 있다. 따라서 자동차용 연료공급장치로서는 역시 곤란하다고 생각되지만 가스 터빈의 연료분사용으로서의 금후 이용 가능하리라 본다.

3.3 고속기류에 의한 분무기

고속기류에 의한 미립화장치를 자동차의 연료공급장치로서 채용하여 혼합기분배의 개선을 꾀할 것을 처음 제안한 것은 저자가 알고 있는 한 棚澤⁹⁾이다. 그는 연료분사밸브 대신에 미립화특성이 좋은 2유체분무기(Twin fluid atomizer)를 제안하였다. 2유체분무기라는 것은 일종의 고속기류에 의한 미립화장치로서, 연료를 압축성이고 다량의 에너지를 저장할 수 있는 기체(주로 공기 혹은 증기)에 의하여 미립화시키는 장치를 말한다. 그후 이것은 개발

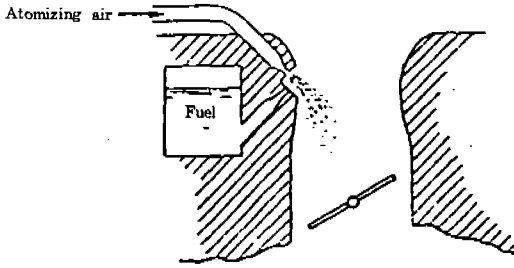


Fig. 5 Installation of impinging jet atomizer in carburetor

까지는 이르지 못하였다. 그 이유로서는 먼저 당시에는 연료공급장치로서 기화기의 우수성이 확립되어 있고 또 2유체분무기를 사용하는 경우에 연료를 미립화시킬 공기용의 동력원이 필요하고, 더우기 이 공기를 저장할 탱크도 필요로 하는 것이 예로 들 수 있다.

최근 고속기류에 의하여 연료를 미립화시키는 방법을 취하여 기관 아이들링시의 성능향상과 고온 및 저온시의 성능향상을 꾀한 논문이 보고되었다.¹⁰⁾ 이것은 현용 배기량이 1,000 cc 정도의 MPI 방식의 자동차엔진을 대상으로 분사밸브에 압축공기를 이용하여 연료를 미립화시킬 수 있는 Valve Adapter를 설치하여 양호한 분무를 실린더내로 공급시키는 방법을 취하고 있다. 그의 자동차회사에서도 2유체분무기를 연료공급장치로서 이용할 연구가 활발히 진행되고 있다고 여겨진다. 그림 5에 고속기류에 의한 분무기를 기화기 위치에 장착할 때의 가상도를 나타내었다.

4. 2 유체 분사밸브

기류의 운동에너지를 이용하여 액체를 미립화하는 2유체분사밸브는 비교적 용이하게 미세한 입자가 얻어지기 때문에 보일러, 가열로, 각종 공업로의 버너, 화학공업에 있어서 분무 건조장치 등에 널리 이용되고 있다. 각 분야에서 사용하는 조건에 따라 명칭도 Air blast atomizer, Pneumatic atomizer, Twin fluid atomizer라 하고 있지만, 여기에서는 자동차의 연료공급용 미립화장치로서 2유체 분사밸브라 부르기로 하겠다.

현용 전자제어분사시스템용의 압력분사밸브의 목적은 적절한 공연비를 유지하기 위하여 연료를 조절하여 공급함이 주된 것이고, 연료의 미립화에 대해서는 그다지 연구의 대상이 되지 못하였다. 그러나 2유체 분사밸브를 연료공급장치로서 채용할 목적은 적절한 연료를 공급함은 물론 양호한 분무특성을 얻어 혼합기분배의 향상과 배기가스성능의 향상 및 희박혼합기에 있어서 연소상태의 개선을 위해서이다. 따라서 이를 위하여서는 2유체 분사밸브의 분무특성을 명확히 파악하여야 한다.

종래 사용된 압력분사밸브에서의 액체 미립화기구와 2유체 분사밸브에서의 액체 미립화기구는 서로 다르다. 그러나 미립화현상이 너무 복잡하여 아직 명확히 밝혀지지 않았지만, 압력분사밸브 및 2유체 분사밸브의 액체 미립화기구는 일반적으로 기체와 액체간의 상호 공기역학적인 작용에 의하여 미립화된다고 여기고 있다.^{11,12)} 따라서 미립화기구에 크게 작용하는 변수로서는 액체의 물성치에도 관계하지만 주로 기체와 액체의 상대속도를 들 수 있다. 그의 2유체 분사밸브에서는 기액유량비도 변수로 들 수 있다. 따라서 압력분사밸브에서는 액류속도에 의하여, 즉 연료분사압력에 따라 분무특성이 좌우되지만, 2유체 분사밸브에

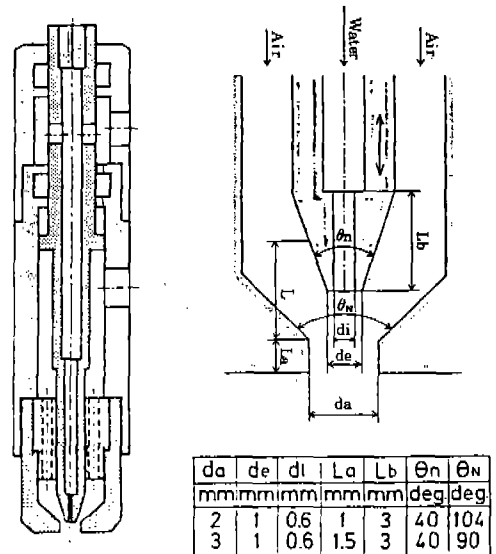


Fig. 6 Twin-fluid atomizer

서는 기류속도에 따라서 분무특성이 좌우된다. 즉 연료를 고속으로 분사하여 미립화하는 압력분사밸브에서는 200기압 이상의 고압을 걸지 않으면 200m/s 정도의 속도가 얻어지지 않는 것에 대하여, 2유체 분사밸브에서는 공기를 200m/s의 고속으로 하기 위해서는 겨우 공기분사압이 1기압 정도면 충분하다.¹³⁾ 예를 들면 현용 MPI 방식의 압력분사밸브에 의하여 미립화된 연료의 평균입경은 150 μm 정도로 알려져 있고, 2유체 분사밸브로서는 평균입경이 50 μm 정도는 쉽게 얻을 수 있다.

2유체 분사밸브의 일예를 그림 6에 나타내었다. 이것은 밸브중앙에 있는 니들밸브가 상하로 움직여 밸브의 공기 출구단면적을 변화시킬 수 있게 한 가변치수의 2유체 분사밸브이다.

4.1 2유체분사밸브의 미립화특성

액체를 고속기류에 의하여 미립화시키는 2유체 분사밸브의 분무발생기구에 대한 연구로서는 해석적 및 실험적인 측면에서 발전되어 왔다.

(1) 해석적인 연구

해석적인 연구는 액체분류 표면상에 발생한 미소난류가 기류와 액체와의 사이에 공기역학적인 상호작용에 의하여 성장하는 불안정이론으로서 발전하여 왔다. 이것은 고속기류에 의하여 액체표면에 생성되는 Capillary waves의 성장을 고려하였다. Mayer¹²⁾는 액체표면의 파가 고속기류에 의하여 파장(λ)에 비례한 진폭까지 성장하면 파의 정점에서 legament가 형성되어, 역시 파장에 비례한 액적(직경 D)이 형성되어 분열한다고 가정하여 다음과 같은 평균입경(\bar{D})의 산출식을 유도하였다.

Table 2. Drop-size equations for twin-fluid atomizer

Investigators	Equation	Remarks
Nukiyama, Tanasawa ¹⁴⁾	$D_{32} = 585(\sigma/\rho_l)^{0.6}/V_r + 597\{(\mu_l/(\sigma \cdot \rho_l))^{0.5}\}^{0.45} (1,000 Q_l/Q_a)^{1.5}$	No effect of nozzle dimensions or air density
Gretzinger, Marshall ¹⁵⁾	$D_m = 0.122 \times 10^{-3} (W_l/W_a)^{0.6} [\mu_a/(V_a \cdot L)]^{0.16}$ $D_m = 2.6 \times 10^{-3} \{(W_l/W_a) \cdot [\mu_a/(V_a \cdot L)]\}^{0.4}$	L = diameter of wetted periphery
Kim, Marshall ¹⁶⁾	$D_m = 5.36 \times 10^{-3} (\sigma_l^{0.41} \cdot \mu_l^{0.32}) / [(\rho_a u_r^2)^{0.67} \cdot A^{0.36} \cdot \rho_l^{0.16}]$ $+ 3.44 \times 10^{-3} (\mu_l^2 / \sigma_l \cdot \rho_l)^{0.17} (W_a/W_l)^m / u_r^{0.54}$	A = flow area of atomizing air stream m = -1 at $W_a/W_l < 3$ m = 0.5 at $W_a/W_l > 3$
Fraser, Dombrowski, Routley ¹⁷⁾	$D_{32} = 6 \times 10^{-6} + 0.59 \{(\sigma_l^{0.5} \cdot \nu_r^{0.21}) / [\rho_a^{0.5} (a D_l + a^2)^{0.25}]\} \times [1 + 0.065 (W_l/W_a)^{1.5}] \{Q_l / [U_p^3 (0.5 u_r^2 - u_r + 1)]\}^{0.5}$	a = radial distance from cup lip U_p = cup peripheral velocity u = air/liquid velocity ratio
Jasuja ¹⁸⁾	$D_{32} = 10^{-4} [1 - W_l/W_a]^{0.5} \cdot [10(\sigma_l \cdot \rho_l)^{0.5} / (\rho_a U_a) + 0.6(\mu_l^2 / \sigma_l \cdot \rho_a)^{0.425}]$	No effect of nozzle dimensions
Rizk ¹⁹⁾	$D_{32} = 0.5 [\sigma_l^{0.6} \cdot \rho_l^{0.25}] / (\rho_a^{0.65} \cdot u_r^{1.2}) \cdot t^{0.4} \cdot (1 + W_l/W_a)^{0.45} + 0.107 [\eta_l^2 / (\sigma_l \cdot \rho_l)]^{0.45} \cdot t^{0.66} (1 + W_l/W_a)$	t = liquid film thickness
Lefebvre ²⁰⁾	$\frac{D_{22}}{L_c} = A(\sigma_l / \rho_a \cdot V_a^2 D_p)^{0.5} (1 + W_l/W_a) + B(\mu_l^2 / \sigma_l \rho_l D_p)^{0.5} (1 + W_l/W_a)$	L_c = characteristic dimension D_p = prefilmer diameter

$$\bar{D} = 9\pi \sqrt[3]{16} B \left(\frac{\mu_l \sqrt{\sigma/\rho_l}}{\rho_a \cdot V_a^2} \right)^{2/3} \dots\dots\dots (1)$$

단, μ : 점성계수, σ : 표면장력
 ρ : 밀도 V : 속도
 B : 수치계수

첨자 a, l : 각각 기체와 액체

그러나 위 식은 상당히 한정된 심플한 현상에 대해서는 실험치와 일치하지만, 일반적으로 위식에 의하여 미립화특성을 추정하는 것은 어렵다. 이것은 미립화에 관여하는 인자가 상당히 많고 복잡하기 때문에 현상에 관여하는 여러가지 변수의 영향을 쉽게 받기 때문이다.

(2) 실험적 연구

2유체분사밸브에는 분무생성방식으로서 내부혼합식, 외부혼합식 등이 있고 분사조건으로서 저압식과 고압식이 있다. 그러나 이러한 분류는 구조상의 특징이나 분사조건에서 본 일반적인 호칭이고, 미립화기구 및 특성은 극단적으로 다르지 않다. 따라서 많은 연구자에 의하여 제안된 분무특성은 여러가지 변수를 실험적으로 조사하여 실험식으로 제안된 것이 많다. 그러나 실험식을 이용할 때에는 제안된 실험식에 사용된 2유체분사밸브의 구조 및 실험조건이 크게 다르면 당연히 적용할 수 없게 되어 주의를 요한다. 표2에 대표적인 2유체분사밸브에 의한 분무의 Sauter 평균입경 (D_{32} , 샘플링한 분무입군의 총체적과 총표면적과의 비에 근거한 평균입경)과 median 입경 (D_m , 분무입군에 대한 누적곡선의 통과분과 잔유분이 같은 점의 입경, 이 입경보다 작은 액적의 총중량과 큰 액적의 총중량은 같다)에 대한 실험식을 표시하였다.

2유체분사밸브의 경우에는 표2에서 알 수 있는 바와 같이, 평균입경을 주어지는 실험식은 2개의 항으로 나누어 표시하는 것이 많다. 제1항은 기액상대속도에 따라서 결정되는 기류의 운동에너지를 나타내고 있고, 주요 무차원수로서 We (Weber 수)가 포함되어 있다. 제2항은 기체에서 액체로 에너지전달의 지속과 액체의 물성치에 의한 분류의 안정성효과를 표시하고, 주요 무차원수로서 기액유량비(W_l/W_g), $Z(= \mu_l/$

$\sqrt{\rho_g \sigma L}$, Ohnesorge 수)가 포함되어 있다. 실제 2유체분사밸브의 치수의 영향을 실험적으로 구하기 위해서는 많은 실험을 필요로 하기 때문에, 실험식을 완전한 무차원수로서 표시하기에는 어렵다. 따라서 2유체분사밸브를 설계할 때에는 분무특성을 향상시키기 위하여 가능한 한 치수효과를 최대한으로 이용하는 것이 좋다. 예를 들면, 노즐을 다공식으로 변화하여 복수개의 가는 분류로 하는 방법이나 액체를 얇은 막상으로 형성시키는 방법(예를 들면 prefilming air blast atomizer)은 기액의 접촉면적을 크게하기 때문에 공기가 갖는 에너지를 유용하게 이용할 수 있다.

Fig. 7은 Fig. 6의 2유체분사밸브에 의한 분무(물) 모양을 사진촬영한 것이다. 분사조건은 공기분사압을 일정히 하고 액체공급유량을 변화시켰을 때이다. 공급유량이 적을수록 양호한 분무특성이 얻어지는 것을 알 수 있다.

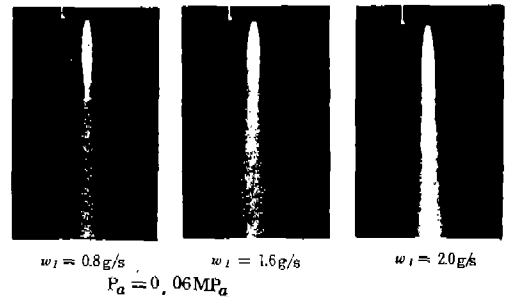


Fig. 7 Spray pattern of twin-fluid atomizer

4.2 2유체 분사밸브의 평균입경 제어방법

2유체 분사밸브로서는 평균입경이 작은 미세한 분무를 쉽게 얻을 수 있지만, 기체유량과 공급액체유량과의 비(Q_g/Q_l)가 3이하에서는 분무특성이 크게 변해버린다(Fig. 8 참조). 따라서 자동차의 연료공급장치로서 2유체 분사밸브를 채용할 경우에는 연료공급유량에 따라 크게 다른 분무특성이 얻어지게 되어 각실린더마다 혼합기분배 성능을 저하시킬 우려가 있다. 따라서 모든 운전범위에서 항상 연료분무를 어떤 작은 입경으로 균일하게 제어하여 공급할 필요가 있다. 그러나 2유체분

사밸브에서는 허용범위내로 분무입경을 어떤 크기로 유지할 수 있는 turn-down ratio (정격연료유량에 대한 최소연료유량의 비)가 실용상 대개 3~5 정도이다. 따라서 넓은 범위에서 사용을 목적으로 하는 자동차용으로는 고정치수의 2유체분사밸브를 그대로 사용하기에는 적절하지 않기 때문에 필연적으로 가변치수의 구조를 갖는 2유체분사밸브의 설계와 분무특성의 제어가 요망된다.

일반적으로 2유체분사밸브의 분무특성의 개선 및 제어를 피하기 위해서는 표 2에 나타난 실험식에서 제 1항과 제 2항의 대소 관계를 비교하면서 고려하는 것이 쉽다. 표 2의 식들중 拔山一棚濺의 실험식을 예로 들면 액체에 임의의 상태(온도, 압력)의 물성치가 주어지면 다음 식이 된다.

$$d_{32} = \frac{A}{V_r} + B \left(1,000 \frac{Q_l}{Q_a} \right)^{1.5} \dots\dots\dots (2)$$

단, A, B: 상수,
 V_r : 기류와 액류의 상대속도
 Q_a, Q_l : 각 기류와 액류의 체적유량

평균입경은 분사밸브의 미립화영역에서 기액상대속도와 기액유량비의 함수로 주어지는 것을 알 수 있다. 즉 평균입경을 일정하게 제어하는 방법으로서는 다음 2가지를 고려할 수 있다.

(1) 공기유량을 일정히 하고 기류속도를 변화시키는 방법

(2) 기액유량비를 일정하게 유지하는 방법

한편 현용 일점연료 분사시스템의 연료공급장치로서 2유체분사밸브를 실용적 견지에서 보면, 기액유량비를 일정하게 유지하는 상기(2)의 방법은 연료공급유량의 증대에 따라 공기유량도 증대하지 않으면 안되므로 큰 용량을 갖는 공기원이 필요하게 된다. 만약 공기원이 한정된 경우에는 공급연료량도 제한을 받아, 넓은 turn-down ratio에 걸쳐서 평균입경을 일정하게 유지시키기 위해서는 곤란하다. 더욱이 공기량을 제어하는 장치를 필요로 하는 단점을 가지고 있다. 그러나 이 방법에 의하면 공기원이 충분하다면 넓은 운전조건 범위에서 평균입경을 제어하기에는 용이하고 제어할 수 있는 평균입경의 범위도 넓은 장점이 있다.

이것에 대하여 (1)의 방법은 공기속도를 변화시키기 위하여 가변치수의 분사밸브(Fig. 6) 설계하여, 공기출구의 단면적이 변화하면 공기속도가 변화하여 평균입경을 일정하게 유지시키는 방법이다. 그러나 가변치수의 분사밸브에서도 공기유량이 작은 경우는 중형자동차 정도의 연료소비량의 범위에서는 일정하게 유지시킬 수 있는 평균입경의 범위는 좁다. 그러나 일정용량의 Compressor에서 공급된 공기량을, 연료유량에 따라 밸브증상에 있는 이들의 상하움직임에 의하여 평균입경을 일정하게 제어하기는 쉽다.

Fig. 8에 식(2)를 표준상태하의 물에 대한 평균입경을 종축에, 기액유량비를 횡축에, 기액상대속도를 변수로 나타낸 것이다. 실험데이터는 Fig. 6의 분사밸브에 대한 것이다.

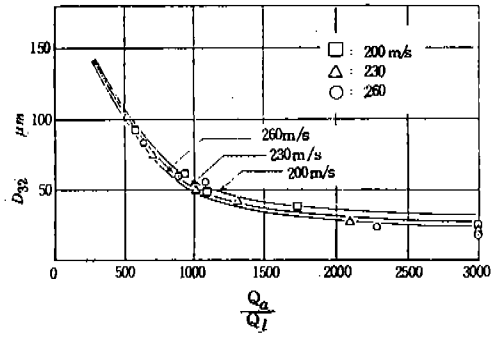


Fig. 8 Variation of mean drop size with Air/Liquid Ratio

5. 결 언

자동차용 연료공급장치로서 2유체분사밸브를 사용할 목적은 일점연료분사시스템이 갖고 있는 장점을 살리면서 단점을 개량하는 것이다. 즉 지금까지 기술했던 바와 같이 연료분무특성의 향상에 따른 혼합기분배의 향상, 배기성능의 향상 및 연료소비율의 향상을 가져오고 또한 공기와 연료간의 혼합이 촉진되어 아이들링시의 시동성능의 향상 및 희박혼합기 영역에서 연소상태의 개선을 꾀할 수 있다고 사료된다.

더우기 종래 저압분사시스템에서 일어났던 고온시의 연료유동문제 즉 vapor lock 현상 및 엔진의 저온상태에서 시동성능의 저하등은 2 유체분사밸브에서는 그 기구상 그다지 문제가 되지 않는다고 사료된다.

한편 단점으로는 미립화용 공기를 분사시킬 동력원이 필요로 하는 것이다. 이것에 대해서는 흡기관내 압력이 부압인 것을 이용하여 대기압과 흡기관내 부압간의 차압에 의하여 공기를 도입하여 연료를 미립화하는 방식이 고려된다. 혹은 배기관내압력과 흡기관내 부압간의 차압을 이용하여 미립화용 공기를 배기가스로 대응시키는 방법도 고려된다.

참 고 문 헌

1. Czadzeck, G.M., et. al., Fords 1980 Central Fuel Injection System, SAE Paper, 790742 (June 11, 1979).
2. Bowler, L.L., Throttle Body Fuel Injection(TBI)-An Integrated Engine Control System, SAE Paper, 800164 (Feb. 25, 1980).
3. 林田洋一, カーエレクトロニクス, 大河出版, (1984).
4. Meyer, E.W., et.al., Outstanding Features of Chrysler's New Electronic Fuel and Engine Control System, Convergence '80, (Sept. 15, 1980).
5. Yamauchi, T., et.al., Gemischverteilung der intermittierenden Zentraleinspritzung bei Ottomotoren, MIZ Zeitschrift, 41 (1980).
6. 全興信, 一點燃料噴射式內燃機關における吸氣管内噴霧流動の改善に關する研究, 日本東北大學博士學位論文, 1988.
7. Trayser, D.A. and Creswick, F.A., Effect of Induction-System Design on Automotive-Engine Emissions, ASME Paper, 69-WA/APC-7 (1969).
8. Martner, J.G., "An Ultrasonic Atomizer Capable of High Rate," API Conference Paper UP66-5, Proceedings of 6th API Research Conference on Distillate Fuel Combustion, API Publication 1705 (1966).
9. 棚澤泰, デイゼル機關 I, 山海堂, (1956).
10. Emmenthal, K.D., et. al., Air-forced Injection System for Spark Ignition Engines, SAE Paper, 850483 (1985).
11. Reitz, R.D., Bracco, F.V., Mechanism of atomization of a liquid jet, Phys. Fluids, Vol.25, No.10, (October 1982).
12. Mayer, E., Theory of Liquid Atomization in High Velocity Gas Streams, ARS Journal, Vol.31, No.12 (1961).
13. 棚澤泰, 液體微粒化の研究, 化學工學と化學機械, Vol.7, (1949).
14. 拔山四郎, 棚澤泰, 空氣流による液體微粒化の實驗, 日本機論第5卷18號, (1939).
15. Gretzinger, J., Marshall, W.R., Characteristics of pneumatic atomization, AIChE J, Vol.7 (1961).
16. Kim, K.Y. and Marshall, W.R., Drop size distributions from pneumatic atomizers, AIChE. J, Vol.17 (1971).
17. Fraser, R.P., Dombrowski, N. and Routley, J.H., The atomization of a liquid sheet by a impinging air stream, chem. Eng. Sci. Vol.18 (1963).
18. Jasuja, A.K., Atomization of crude and residual fuel oils, ASME Paper 78/GT/83, Presented of ASME Gas Turbine Conference, London, April (1978).
19. Rizk, N.K., Studies on liquid sheet disintegration in airblast atomizers, Ph.D. Thesis, Cranfield Institute of Technology (1977).
20. Lefebvre, A.H., Airblast Atomization, Prog. Energy Combustion Science, Vol.6 (1980).