

〈論 文〉

## 저압 TBI용 분사밸브의 분무특성에 관한 연구(I)

전흥신\* · 임증한\*\* · 이택희\*\*\*

(1993년 7월 3일 접수)

### Study on the Spray Characteristics in TBI Injector with Low Pressure

Heung-Shin Jeon, Jong-Han Lim and Teak-Hee Lee

**Key Words:** Liquid Atomization(액체의 미립화), TBI Injector(TBI 분사기), Twin Fluid Atomizer(2유체 분사기), Spray Characteristics(분무특성), Disintegration Mechanism(분열기구)

#### Abstract

The study on the spray characteristics of TBI(Throttle Body Injection) injector has been carried out in this paper. The objective of this study is to improve the performance of TBI injector. The increase in the injection pressure and the utilization of assisted air are considered. The spray pattern of TBI injector take the hollow-cone shape with 60°~70° spray angle regardless of injection pressure and injection pulse width. SMD(Sauter Mean Diameter) of water in TBI injector are 510~550 μm and 310~370 μm respectively when injection pressures are 0.75 kgf/cm<sup>2</sup> and 2.8 kgf/cm<sup>2</sup>. Then SMD of gasoline is estimated 380~410 μm and 230~280 μm respectively. The improvement of spray characteristics in TBI injector can be obtained with assisted air. If  $W_A/W_L$  was over 0.2, SMD of water can be made under 50 μm.

### 1. 서 론

승용차에서 배출하는 유해 배출가스를 규제한 이후, 기화기식보다는 공연비제어가 쉬운 전자제어 연료분사시스템(MPIS, SPIS)이 개발되어 채용이 확대되어 왔다.<sup>(1,2,3)</sup> 전자제어 연료분사시스템은 유해 배출가스의 환경기준을 달성하기 위하여 운전조건에 따라 적절한 공연비가 되도록 적당량의 연료를 공급하는 것이 주 목적이지만, 이들 시스템에도 개선할 점은 많이 있다. 이것은 모두 저압이 연료분사시스템을 채용하고 있기 때문에 연료의 미립화 특성의 악화가 차량의 운전성능은 물론 연료소비량

의 악화를 초래할 수 있다.<sup>(4,5)</sup> 즉 실린더내에 존재하는 액체연료는 점화하는 순간에 가스상태가 되도록 해야 한다. 그러나 연료 액적크기가 60 μm 이상이면 흡입, 압축행정중에 완전히 기화되지 못하여 점화성과 점화지연에 영향을 미치고,<sup>(6)</sup> 궁극적으로 연소성능 및 배출가스성능에 커다란 영향을 미친다는 것은 쉽게 예견할 수 있기 때문이다. 따라서 최근에는 기존의 전자제어 연료분사기보다 미립화특성이 훨씬 우수한 초음파 미립화장치,<sup>(7)</sup> 공기혼합 연료공급장치<sup>(8,9,10)</sup>를 개발하여 연비향상은 물론 차량의 운전 성능의 향상을 꾀하고 있다.

본 연구는 현용 일점 연료분사시스템(SPIS)의 일종인 TBI(throttle body injection)용 분사기의 분열기구 및 미립화 특성을 명확히 함과 더불어, TBI 연료분사기의 분무특성의 개선과 연료를 압축공기와 함께 분사시키는 2유체 분사기의 분무특성

\*정회원, 경희대학교 기계공학과

\*\*정회원, 경희대학교 기계공학과

\*\*\*정회원, 경희대학교 기계공학과 대학원

에 대한 기초데이터를 얻는 것을 목적으로 하고 있다. 이를 위하여 먼저 기존의 TBI용 분사기의 분무특성을 살펴보고, 기존의 분사기를 기본으로 한 내부 혼합형의 단공 2유체 분사기를 제작하여 이 분사노즐의 분열기구 및 분무특성을 조사하여 비교 검토하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

본 연구에 사용한 실험장치의 계통도를 Fig. 1에 표시하였다. 실험장치는 크게 연료공급시스템, 압축공기 공급시스템, 분무입경, 입도분포 측정장치, 분사펄스 제어장치 및 분열기구 촬영장치로 나눌 수 있다. 연료공급시스템은 기존의 승용차에 채용되고 있는 것을 가능한 한 그대로 도입하였으며, 분무입경 및 입도분포는 영국 Malvern 사 제품의 레이저광 산란기법을 이용한 입경 및 입도분포 측정장치를 사용하였다. 분사펄스 제어장치(duty controller) 및 시간 지연장치(retarder)는 직접 제

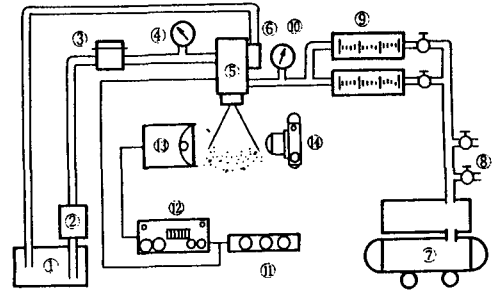


Fig. 1 Schematic diagram for experimental apparatus

작하여 사용하였다.

연료는 연료탱크 ①로부터 연료펌프 ②에 의하여 가압 송출되어, 댐퍼 ③을 통과하여 분사기 ⑤에서 대기중으로 분사된다. 연료의 분사압은 브로돈관식 압력계 ④를 보면서 레귤레이터 ⑥을 조절하여 항상 일정한 압력이 유지되도록 하였다.

압축공기는 콤프레샤 ⑦에 의하여 액큐뮬레이터에 의해 맥동이 제거된 후, 유량계 ⑨(유량 측정범위가 다른 두개를 설치)를 통과한 후 분사밸브 ⑤

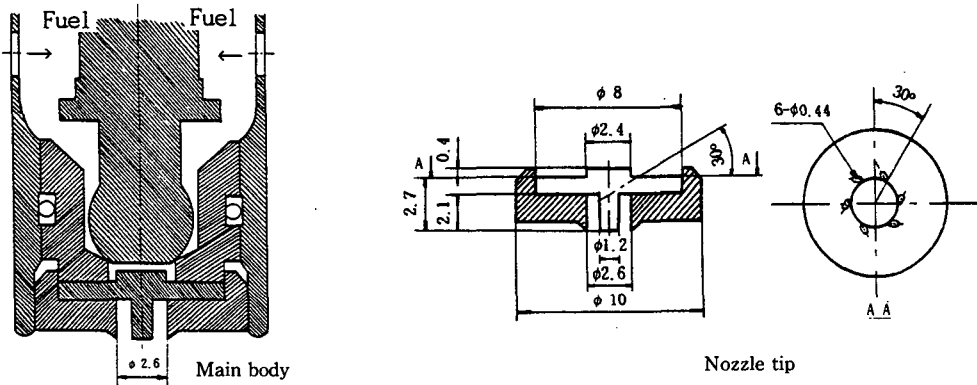
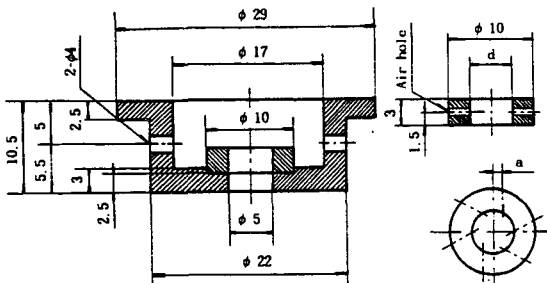


Fig. 2 Main body and nozzle tip for TBI injector Main body Nozzle tip



	d(mm)	a(mm)	Air hole
A-1	φ 4	1.25	6-φ 1.5
A-2	φ 5	1.25	6-φ 1.5
A-3	φ 5	0	8-φ 1.5

Fig. 3 Air nozzle

Table 1 Fuel properties

	Surface Tension[dyn/cm]	Kinematic viscosity[x10 <sup>-6</sup> m <sub>2</sub> /s]	Density[x10 <sup>3</sup> kg/m <sup>3</sup> ]
Water	73.48	1.139	0.99
Gasoline	22.71	0.551	0.75

로 도입된다. 공기 유량조절은 니들밸브 및 게이트 밸브 ⑧를 사용하였다.

Fig. 2는 TBI용 분사기의 본체와 노즐팁의 구조를 도시하였다. 분사기는 노즐팁의 내측에 직경 0.44 mm인 분공이 6개가 30°의 각도로 뚫려 있으며, 노즐팁은 직경 2.6 mm이며 길이가 2.1 mm로 이루어졌다. TBI 연료분사기의 분무특성의 개선과 연료를 압축공기와 함께 분사시키는 2유체 분사기의 압축공기를 도입하기 위한 공기노즐은 내부혼합식으로서 Fig. 3에 도시하였다. 이것은 TBI용 분사기의 본체를 변형시키지 않고 그대로 노즐 외측에 장착시켜 공기를 도입할 수 있게 하였으며, 공기노즐은 3종류를 설계 제작하였다.

2.2 실험방법

TBI용 및 2유체 분사기의 분무특성은 액체의 분열기구, 유량분포, 평균입도분포 및 평균입경을 검토하였다. 실험은 기존의 TBI 분사기의 분무특성을 검토한 후 2유체 분사기에 대하여 실시하였다. TBI용 분사기의 분사압은 0.75 kgf/cm<sup>2</sup>부터, MPI용 분사압인 2.8 kgf/cm<sup>2</sup>까지 변화시켰으며,

연료공급 펄스폭은 실제 승용차의 분사기간이 2~10 ms 임을 고려하여 5 ms, 10 ms를 대표적으로 선택하였다. 본 실험은 연료를 가솔린 대신에 증류수를 사용하였으며, Table 1에 증류수 및 가솔린의 물성치를 정리하여 놓았다. TBI 분사기의 공급유량특성은 증류수를 사용하여 분사압에 따른 각 분사기간(펄스)에 대한 100 펄스당 분사유량으로 Fig. 4에 도시하였다. 2유체 분사기의 분무특성 실험의 연료공급압 및 분사기간은 기존의 TBI 분사기의 분무특성 실험시와 동일하게 하였고, 공기 분사압은 1.0 kgf/cm<sup>2</sup>에서 2.0 kgf/cm<sup>2</sup> 까지 변화시켰다.

분무의 평균입경 및 유량분포 측정위치는 TBI 시스템의 TBL 분사기와 스토틀밸브까지의 길이를 참고로 하여, 분사기의 선단에서 50 mm 떨어진 곳으로 정하고, 이 위치에서 평균입경, 입도분포 및 유량분포를 측정하였다. 연료의 분열기구는 분사밸브를 구동시키는 분사펄스 제어장치 ⑩의 신호를 일정시간 지연시킬 수 있는 시간 지연장치 ⑫를 통해 지연시켜, 이 지연된 신호가 스트로브 ⑬를 발광시키게 하여 사진촬영을 통하여 검토하였다. 분열기구의 촬영시에는 주위가 완전히 어두운 상태에서 사진기 ⑭를 B셔터로 완전히 열어 놓은 상태이기 때문에 스트로브의 발광시에 연료의 순간 분열 현상이 필름(ASA 400을 사용)에 감광되어 분열기구의 시간 변화를 추적할 수 있었다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 분열기구

TBI용 분사기에서 분출한 연료의 분열기구는 연료분사압이 0.75 kgf/cm<sup>2</sup>, 분사기간이 10 ms 인 조건하에서 시간경과에 따른 분열모양을 순간 사진촬영하여 Fig. 5에 도시하였다. 그림은 분사개시 3 ms 후에 이미 노즐출구에 와형(swirl type) 분사밸브의 특유의 선회에 의한 중공원형(hollow cone)의 나팔상의 액막이 형성된 것을 보이고 있다. 이

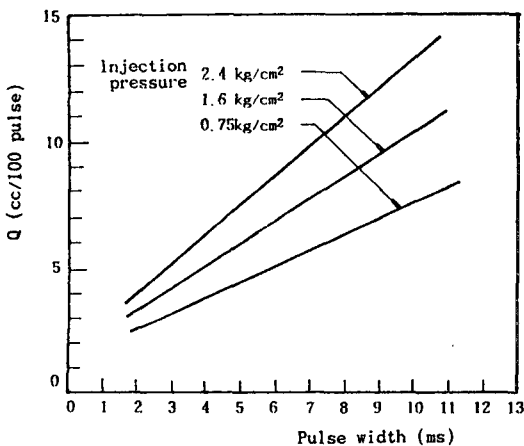


Fig. 4 Flow rate fo TBI injector

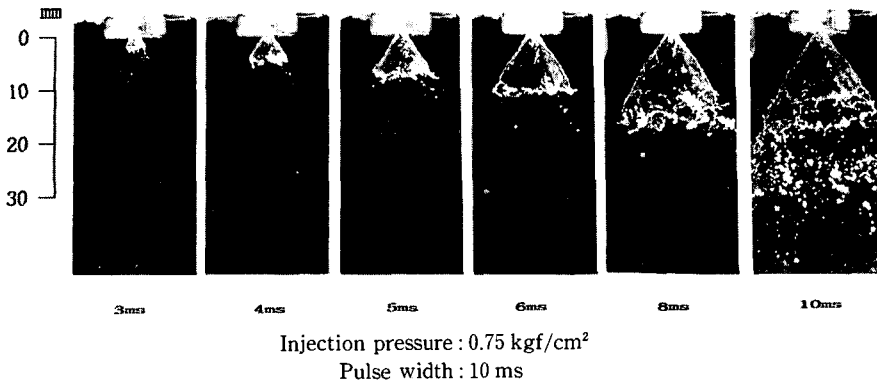


Fig. 5 Disintegration mechanism of TBI injector

것은 노즐 내부에서 기인된 액체의 선회유동이 노즐 출구에서 액체의 회전속도와 축방향속도의 합성 방향으로 분출되어 전체적으로는 원추상의 곡면을 형성하기 때문이다. 또한 그림은 분사시간이 지남에 따라 원추상의 액막이 관성으로 인하여 불안정하게 신장되고, 8 ms 후에는 불안정한 액막의 진폭이 크게 되어 액막이 얇은곳은 파괴되어 구멍이 형성됨을 보이고 있으며, 생성된 구멍은 표면장력에 의하여 점차 확대되고, 10 ms 후에는 확대된 구멍과 원주방향으로 분열되어 미세한 분무가 생성되고 있으며, 분열은 분사종료후에 완료하는 것을 보이고 있다. (Fig. 6 참조)

Fig. 7은 연료의 분사시간을 10 ms로 동일하게 두고, 연료의 분사압만을 1.6 kgf/cm<sup>2</sup>로 상승시켰을 때의 분열기구를 도시한 것이다. 전체적으로 분열기구는 저압시와 동일한 것을 보이고 있으나, 분사개시 7 ms 후에 이미 원추상의 액막에 구멍이 형성됨을 보여 분열속도가 저압시보다 빨라지는 것을 알수 있다. 이것은 분사압이 높으면 액막에 작용하는 관성력이 크고 또한 액막의 불안정한 파의 성장도 빠르게 되기 때문에 분열이 빨라졌기 때문이라고 사료된다.

공기와 연료를 함께 분사한 2유체 분사기의 분열 모양의 시간변화는 Fig. 8에 도시하였다. 실험조건은 연료분사압 0.75 kgf/cm<sup>2</sup>, 분사시간 10 ms, 공기 분사압이 0.1 kgf/cm<sup>2</sup>인 조건하에서 A-1 노즐을 사용하였다. 그림은 분사개시 3 ms 후에 연료가 노즐출구에서 가는 실상의 수 많은 물줄기를 형성하여 이 물줄기의 선단에서 미세한 액적으로 분열이 발생하고 있는 것을 보이고 있다. 더우기 이와같은 분열기구는 분사말기(8 ms)까지 그대로 유

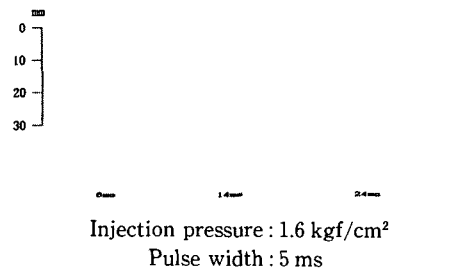


Fig. 6 Disintegration shape after Injection

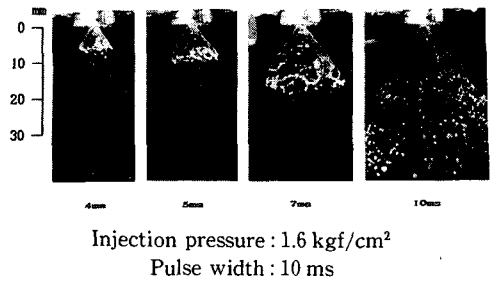


Fig. 7 Disintegration shape after Injection

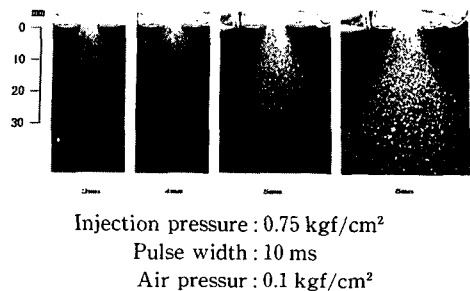


Fig. 8 Disintegration shape after twin fluid atomizer

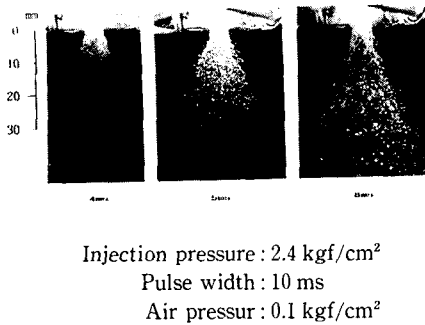


Fig. 9 Disintegration shape after twin fluid atomizer

지하고 있어, 2유체 분사기(twin fluid atomizer)의 독특한 특징을 보이고 있다. 이와 같은 원인은 액체가 노즐내부 벽면을 선회하면서 액막상으로 흐르는 상태에서 공기가 고속으로 흐르기 때문에 액막표면의 힘이 균형이 깨뜨려져 액막상을 유지하지 못하고 수많은 가는 물줄기(실상)로 분출되고, 분출된 실상의 물줄기는 주위의 고속의 공기흐름의 영향으로 불안정하게 되어 분열이 일어나기 때문이라고 사료된다.

Fig. 9는 Fig. 8과 동일한 조건에서 분사압만을 2.4 kgf/cm<sup>2</sup>으로 상승시켰을 때의 분열기구를 나타낸 것이다. 그림은 연료의 분사압이 상승시에도 동일한 분열기구를 보이고 있으나, 연료 분출압 및 분출유량의 증가로 인하여 액막의 분출속도가 빨라 실상의 물줄기의 길이(분열길이)가 길어진 것을 보이고 있다. 이것은 액줄기의 분열위치가 노즐 선단에서 멀어진 것을 의미하고 있다.

따라서 2유체 분사기의 증류수의 분열기구는 분사 초기부터 실상으로 분열이 일어나는 것에 비하여, 기존의 TBI용 분사기의 분열기구는 증류수가 나팔상의 액막을 형성한후 이 막상의 연료가 분사기간의 말기에서 분열이 시작후 분사기간 종료후에 분열이 완료하는 것을 알 수 있다.

3.2 유량분포

기존의 TBI용 분사기에서 분출하는 연료의 분무형태는 육안 및 사진관찰에서 중공원형(hollow cone)을 이루는 것을 알 수 있다. TBI용 분사기의 유량분포는 가로축에 반경방향, 세로축에 100펄스 분사시의 단위면적당의 통과 유량( $q$  cc/cm<sup>2</sup>·100펄스)을 취하여 Fig. 10에 나타내었다. 그림은 연료의 분사압이 0.75 kgf/cm<sup>2</sup> 일 때는 통과유량

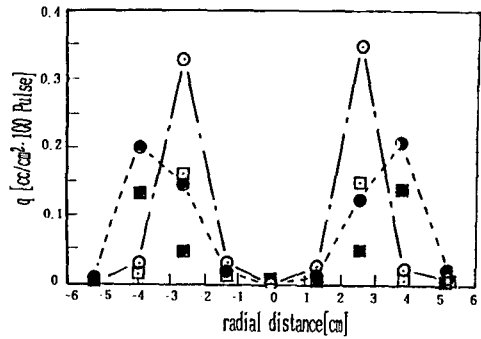


Fig. 10 Flow pattern of TBI injector

의 피크위치가 분사기간에 관계없이  $r = \pm 26$  mm이며, 분사압을 2.4 kgf/cm<sup>2</sup>로 상승시켰을 경우에는  $r = \pm 39$  mm 임을 보이고 있고, 반경방향의 피크점을 기준으로 내측 및 외측의 통과유량은 거의 없는 것을 보이고 있어 분무형태는 중공원형을 취하고 있는 것을 알 수 있다. 분무각은 분사압력이 0.75 kgf/cm<sup>2</sup> 및 2.4 kgf/cm<sup>2</sup> 일때 유량분포의 피크점을 기준으로 환산하면 각각 55°, 76°를 보이고 있고 이것은 분무사진에서 실측한 분무각 60°, 77°와 거의 일치하고 있음을 알 수 있다. 따라서 TBI용 분사기의 분무각은 원추상의 액막의 형태가 그대로 미립화되어 분무각을 이루고 있으며, 분사압이 높은쪽이 큰 분무각을 이루고 있음을 알 수 있다.

TBI용 분사기의 분무형태는 중공원형을 이루고 있는데, 이러한 이유는 TBI분사기의 설치위치가 스토틀밸브의 상류측이기 때문에 분사된 연료가 스토틀밸브와의 충돌을 피하기 위하여 중공원형의 분무형태를 형성하도록 일부러 와형(swirl type)의 밸브구조(Fig. 2 참조)를 추구하고 있기 때문이라고 사료된다.

2유체 분사기에 대한 유량분포는 일례로 노즐 A-3에 대하여 Fig. 11에 도시하였다. 그림은 TBI 분사기의 유량분포와 유사한 중공원형을 유지하지만, 중앙부위에도 상당한 유량이 통과하는 것을 보이고 있고, 최대유량은 노즐축 중심에서 반경방향으로  $r = \pm 13$  mm 인 곳으로서 전술한 TBI 분사기와는 상당한 차이가 있는 것을 알 수 있다. 유량분포의 피트점을 기준으로 분무각을 계산하여 보면 2유체 분사기는 29°로서 공기를 분사하지 않은 TBI 분사기의 분무각보다는 상당히 작은 것을 알 수 있으며, 더우기 2유체 분사밸브의 분무사진에서 실측

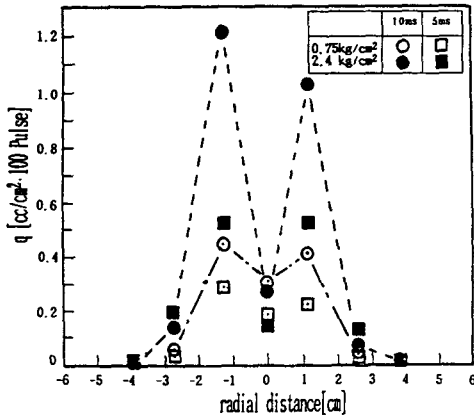


Fig. 11 Flow pattern of twin fluid atomizer

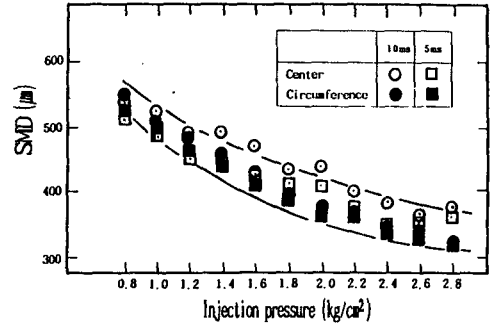


Fig. 12 The effect of injection pressure on SMD of TBI injector

한 40°와는 차이가 있다. 이와 같이 분무각의 차이는 2유체 분사밸브에서 분출한 공기의 유동이 분무의 유량분포에 영향을 미쳤을뿐 아니라, 분무사진에서 실측한 분무각은 미세한 분무가 공기와 함께 주위로 확산되었기 때문이다. 따라서 2유체 분사기의 분무각은 유량분포의 피크점이 아니라 분무사진으로 분무각을 실측하여야 한다.

### 3.3 분무의 평균입경

TBI용 분사기의 분사압력에 따른 증류수의 평균입경(SMD: sauter mean diameter)은 분사시간이 10 ms, 5 ms에 대하여 측정된 결과를 Fig. 12에 도시하였다. 증류수의 평균입경은 분사압이 0.75 kgf/cm<sup>2</sup>일 때 510~550 μm, MPIS(multi point injection system)용 분사기의 분사압인 2.8 kgf/cm<sup>2</sup>의 경우는 310~370 μm이어서 연료의 분사압이 높을수록 평균입경은 작아진 것을 보이고 있다. 가솔린을 분사시에는 증류수보다 표면장력 및 점도가 작기 때문에 동일한 분사조건이라면 평균입경이 작으리라 예상된다. 와형(swirl type) 분사밸브에 있어서 액체의 물성치가 미립화특성에 미치는 영향에 대한 소림<sup>(11)</sup>의 연구에 의하면, 액체의 동점성계수가 10 cSt 이하이면 점성은 입경에 그다지 영향을 미치지 않지만, 표면장력은 입경에 표면장력의 4 승근에 비례한 다음과 같은 실험식을 발표하였다.

$$\bar{d} = 7.98 t_0 \sqrt[4]{\frac{\sigma}{\rho l_0} \sqrt{(1-k)^3 [1 + 0.37 \sqrt{\frac{1}{d_e}}]} \times [1 + 19.7 e^{-4.13A}]}$$

여기서,

- $\bar{d}$ : 평균입경,
- $t_0$ : 분공에 있어서 액막의 이론적 두께
- $p$ : 분사압과 외기압의 차,
- $\sigma$ : 액체의 표면장력
- $d_e$ : 분출직경,
- $k$ : 공동계수,
- $l$ : 분출공의 평행부 길이

본 실험에서 얻은 결과와 가솔린의 물성치를 사용하여 소림의 실험식에서 가솔린의 평균입경을 산출하였다. 가솔린의 평균입경은 연료분사압이 0.75 kgf/cm<sup>2</sup>, 2.8 kgf/cm<sup>2</sup>일 때 각각 380~410 μm, 230~280 μm임을 추론할 수 있어 가솔린은 분사시에도 상당히 입경이 큰 분무군이 생성됨을 예견할 수 있다.

2유체 분사기를 사용시 즉, 압축공기를 증류수와 함께 분사시의 분무의 평균입경은 연료분사압이 0.75 kgf/cm<sup>2</sup>, 분사펄스 기간이 10 ms인 경우를 일례로 3가지의 공기노즐(A-1, A-2, A-3)에 대한 것을 액체질량에 대한 공기질량비( $w_A/w_L$ , 이하 공액비로 포기)로 Fig. 13에 나타내었다. 실험결과는 3가지의 공기노즐중 A-1의 것이 가장 우수한 것으로 나타났으며, 모든 공기노즐에 대하여 공액비가 클수록 평균입경이 작은 것을 보이고 있다. 이것은 분무의 평균입경은 액체에 작용하는 공기속도가 상대적으로 빠를 수록 작게 된다는 것을 의미하며, A-1노즐의 출구직경이 가장 작아 공기의 분출속도가 다른 노즐에 비하여 빠르기 때문이라고 생각된다. 그러나 액체가 회전하는 방향과 공기가

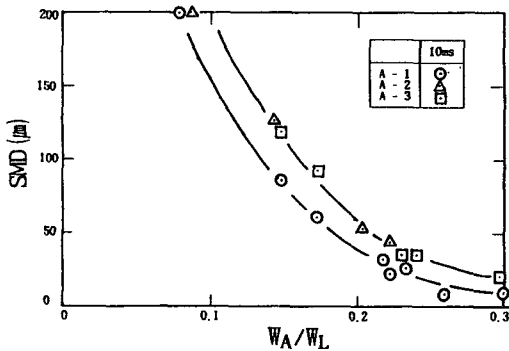


Fig. 13 The effect for  $W_A/W_L$  on SMD for twin fluid atomizers

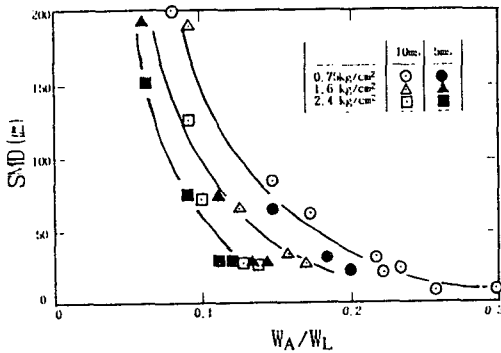


Fig. 14 The effect of  $W_A/W_L$  on SMD for various injection pressure of A-1 air nozzle

회전하는 방향이 일치한 A-2노즐과 공기를 선회시키지 않고 공급하는 A-3노즐에 대한 평균입경은 본 실험범위내에서는 그다지 차이가 없었다.

Fig. 14는 A-1 노즐에 대하여 연료 분사압 및 분사펄스기간을 변화시켰을 경우의 증류수에 대한 공기의 질량유량비에 대한 평균입경을 정리하였다. 실험결과는 전반적으로 동일한 공액비일지라도 연료분사압이 높을수록, 분사펄스 기간이 짧은 것(5 ms)이 평균입경이 작은 것을 알 수 있다. 이것은 분사압이 높을수록 혹은 분사펄스 기간이 짧을 쪽이 단위 시간당 분출유량이 많기 때문에, 동일한 공액비에서도 연료의 분출유량이 많을수록 분무의 평균입경은 작게 된다고 사료된다.

#### 4. 결 론

TBI 분사기의 분무특성의 개선에 관한 연구를

수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) TBI 분사기의 미립화기구는 분사말기에 액막분열을 일으키고 있으며, 2유체 분사기는 분사초기부터 실상의 분열을 일으킨다.

(2) TBI 분사기의 분무형태는 분사압력 및 분사기간에 상관없이 증공원형(hollow-cone)을 형성하며, 분무각도는 분사기간에 상관없이 분사압력이 0.75 kgf/cm<sup>2</sup>에서 2.4 kgf/cm<sup>2</sup>의 범위에서 60°~70°이다.

(3) TBI 분사기의 증류수의 평균입경은 분사압력이 0.75 kgf/cm<sup>2</sup> 및 2.8 kgf/cm<sup>2</sup>일 때 각각 510~550 μm 및 310~370 μm 이었으며, 가솔린의 경우는 각각 380~410 μm 및 230~280 μm으로 예측되었다.

(4) TBI 분사기의 분무특성의 개선은 연료분사압의 상승보다는 압축공기의 도입으로 달성할 수 있으며, 연료분사압이 0.75 kgf/cm<sup>2</sup>일 때 공액질량비가 0.2 이상이면 증류수의 평균입경은 50 μm 이하를 얻을 수 있다.

#### 참고문헌

- (1) Meyer, E. W. et al., 1980, "Outstanding Features of Chrysler's New Electronic Fuel and Engine Control System," Convergence'80, Sep. 15.
- (2) Bowler, L. L., 1980, "Throttle Body Fuel Injection Systems," SAE Paper 800164
- (3) 林田洋一, 1984, "カーエレクトロニクス," 大河出版.
- (4) Mineo Kashiways and Tokuo Kosuge, 1990, "The Effect of Atomization of Fuel Injectors on Engine Performance," SAE Paper 900261
- (5) Toshiharu Nogi, Yoshige Ohyama and Teruo Uamachi, 1989, "Effects of Mixture Formation fo Fuel Injection Systems in Gasoline Engines," SAE Paper 891961
- (6) C. K. Law et al., 1984, "Simulation of Fuel Droplet Gasification in S. I. Engines," Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Vol. 106, pp. 849~853
- (7) Kazuyoshi Namiyama, Hiromi Nakamura, Kakuro Kokubo and Daijiro Hosogai, 1989, "Development of Ultrasonic Atomizer and Its

- Application to S. I. Engines," SAE Paper 890403
- (8) Emerson, J., Felton P. G. and Brocco, F. V., 1990, "Structure fo Sprays from Fuel Injections Part III : The Ford Air-Assited Injector," SAE Paper 900478
- (9) Emmenthal, K. D. et al., 1985, "Air-Forced Injection System for Spark Ignition Engines," SAE Paper 850483
- (10) Minoru Iwata, Michio Furuhashi and Michiaki Ujihashi, 1987, "Two-hole Injector Improves Transient Performance and Exhaust Emission If 4-valve Engines," SAE Paper 870125
- (11) 小林清志, 1953, "うず巻噴射弁の微粒特性(第4報 液體の性質が噴霧角および粒径におよぼす影響)," 日本機械學會論文集 第19卷 第80號 pp. 56~61