

가솔린 자동차의 희박연소시스템 적용을 위한 연료공급 최적화에 관한 연구 (I)

- 가솔린 인젝터의 연료분열특성에 관한 연구 -

A Study on the Optimization of Fuel Metering for the Lean Combustion System in a Gasoline Engine (I)

윤석주*, 조대진**, 방두열***
S.J. Yoon, D.J. Cho, D.Y. Pang

ABSTRACT

In recently, a study on the lean combustion is investigated intensively, because it is expected that this method may decrease the harmful exhaust gas and improve fuel economy in gasoline engine. The problems of lean combustion system in gasoline engine are ignition difficulty, misfire and instability of combustion. The investigation on the optimization of fuel metering and the control of mixing gas flow may be critical to improve the performance of lean combustion. In the fuel injection gasoline engine, the formation of mixture influences strongly on the engine performance such that the importance of fuel metering system becomes apparent.

First of all, a study on the fuel breakup characteristics of gasoline fuel injector was carried out in this paper. Fuel injectors are pintle and 4hole-2spray type. The purpose of this study is to clarify the atomization mechanism of spray injected into atmosphere field through electronic controlled-fuel injectors, and to analyze spray characteristics such as drop size distribution and mean drop diameter produced at fuel injector.

In this paper, the spray development is observed by taking photographs using 80mm still-camera system, and drop sizes are measured by PMAS. From these experiment, spray pattern injected from gasoline fuel injectors was investigated clearly. Also, it was found that SMD and drop size distribution of injected fuel spray from gasoline fuel injectors.

Key Words : SMD(Sauter 평균역직경), PMAS(입자운동분석시스템),
Gasoline Fuel Injector(가솔린 연료분사 노즐),
Fuel Breakup Characteristics(연료분열특성)

1. 서론

최근 산업 경제의 발달과 팽창에 따른 자동

차의 급속한 증가로 지역간의 이동이 활발해짐에 따라 자동차가 유해배출물의 이동원으로서 규제 필요성이 증대되어 세계각국에서 규제 정도가 점점 강화되고 있는 추세이다. 또한 환경보호 및 에너지 절약을 추구하는 사회적, 경

* 정희원, 전북대 기계공학과, 자동차신기술연구소
** 정희원, 전북대학교 대학원
*** 순천제일대학 제어계측과

제적 요구의 증가에 따라 자동차의 공해 방지 대책과 연료의 경제성 향상에 대해서 중점적인 기술적 노력이 진행되고 있다.

가솔린 기관에서 유해배출가스 저감과 연비 향상을 동시에 만족시키기 위한 방법 중 회박연소 방식이 조기 실현 가능한 방법으로 인정받아 최근 회박연소에 관한 연구가 활발해지고 있다. 회박연소 성능을 향상시키기 위해서 선행되어야 할 연구로는 연료공급의 최적화와 혼합기의 유동제어가 가장 중요하다고 할 수 있다. 연료분사식 가솔린 기관에서 분무역적과 흡입공기와의 혼합과정은 연소과정과 밀접한 관련을 가지고 있으며, 또한 연료소비율과 배기물 생성에 영향을 미치고 있다. 따라서 인젝터를 통해서 분사된 연료의 분무형태와 무화 특성은 매우 중요하다고 할 수 있다. 현재까지 이에 관련된 많은 연구⁽¹⁻³⁾가 이루어졌는데 Matthes⁽⁴⁾ 등은 흡입관 부근에서의 연료상태가 기관성능에 미치는 영향을 연구한 결과 미세한 연료입자를 사용한 경우에 회박한계가 확장됨을 규명하였다. Richard⁽⁵⁾ 등은 역시 작은 액적보다 큰 액적들이 HC를 증가시킨다고 하였다.

회박연소를 이루기 위해 요구되는 혼합기 유동제어중 1차적으로 연료공급의 최적화를 위해서는 기존의 가솔린 분사노즐에서 분출된 연료 역적의 분열형태 및 역적거동 등의 정량적 분석이 요구된다. 따라서, 본 연구에서는 가솔린 기관의 분사시스템을 구성하였고, 가솔린 기관에서 널리 사용되는 핀틀형 인젝터와 DOHC 기관에 사용되는 4hole-2spray형 인젝터의 연료분열특성과 연료입자의 거동을 규명하였다. 이를 위해 분사시간에 대한 분무형상 변화를 shadow graphy법을 사용하여 연료분무의 분열 과정을 촬영하였으며 그 결과 각 인젝터에서 분사되는 연료분무의 분열패턴을 구분할 수 있었다. 또한 연료의 연소상황에 영향을 주는 액적크기에 대한 정보를 얻기 위해 광학적 계측장치인 PMAS를 사용하여 평균액적크기를 계측하고 액적크기 분포에 대한 분석을 실시하였다.

본 연구에서는 가솔린 엔진의 회박연소를 달성하는데 요구되는 연료공급 제어를 위한 선행

연구로서, 혼합기 형성기술을 확보하기 위하여 입자의 거동과 미립화 정도를 측정·분석 하였으며, 본 연구결과는 연료분사식 가솔린 기관의 흡기포트와 밸브에서의 인젝터 및 흡기계설계 자료로 이용될 수 있으며, 연료혼합과정을 분석하는데 기초자료로서 활용될 수 있을 것이다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에서 사용한 실험장치는 연료분사시스템, 분무형상촬영장치로 구분할 수 있다.

2.1 연료분사시스템

Fig. 1은 본 실험에서 실제 제작한 연료분사시스템을 보여주고 있다. 연료공급계는 실제 가솔린 기관에 장착되는 부품들로 구성하였는데, 연료는 연료탱크로부터 연료필터를 거쳐 전원공급기에 의해 구동되는 연료펌프에 의해 가압 송출된다. 연료의 분사압력은 연료관 입구에 부착한 압력계로 측정하였으며 분사압력조정은 연료관 끝에 부착된 압력조정기에 공기압축기로 가압된 공기를 공급하여 조절하였다. 압력조정기에서 되돌려지는 연료는 전량 연료탱크에 재순환 되도록 하였다. 연료의 분사압력은 0.33, 0.40, 0.45MPa로 변화를 주었다. 연료분사 펄스 제어장치 및 시간지연장치를 제작하여 PC에 의해 구동되도록 프로그램을 작성하였고, 사용된 연료는 상온의 가솔린이며 그 물성치는 표면장력 $\sigma = 22.71(\text{dyne/cm})$, 동점성계수 $\nu = 0.55 \times 10^{-6}(\text{m}^2/\text{s})$, 밀도 $\rho = 0.6803 \times 10^3(\text{kg/m}^3)$ 이다. 연료분사 인젝터는 MPI SOHC엔진에 사용되는 핀틀형과 DOHC엔진에 사용되는 4공2분무형을 사용하였다.

2.2 분무형상 촬영시스템

Fig. 2는 인젝터 선단으로부터 분무의 발달 과정을 가시화하기 위해 구성한 촬영시스템이다. 제어보드를 통해 인젝터의 솔레노이드를 구동시키고 지정된 시간만큼 지연 후에 스트로보에서 스파크라이트가 동작되며 동시에 관찰 영역내의 분무형상이 촬영된다.

본 연구에서 사용된 스트로보는 섬광을 최대

1000Hz, 광지속시간 10 μ s인 강한 펄스 빛을 발생시키는 MVS 2600 series이며 Nikon FM2카메라의 셔터를 완전 개방상태에서 역광으로 순간 촬영하였다. 이때 사용된 필름은 감광성능이 우수한 kodak ASA400을 사용하였다. 인젝터의 분사기간은 실제 승용차의 분사기간(t_i)이 2.5-10ms임을 고려하여 본 연구에서는 임의적으로 3ms로 하였으며, 연료분사압력을 0.33MPa로 일정하게 유지하였다. 촬영은 분사개시후 초기분무가 나타나는 1.8ms이후부터 분사말까지 0.1ms 단위로 촬영하였다.

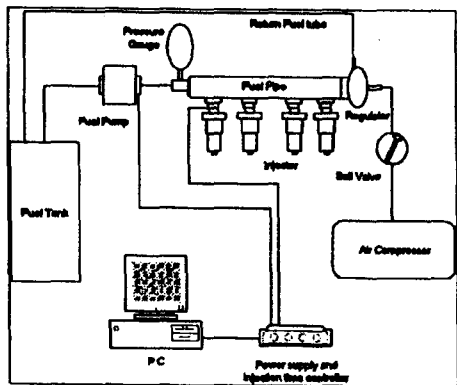


Fig. 1 Schematic diagram of fuel injection system.

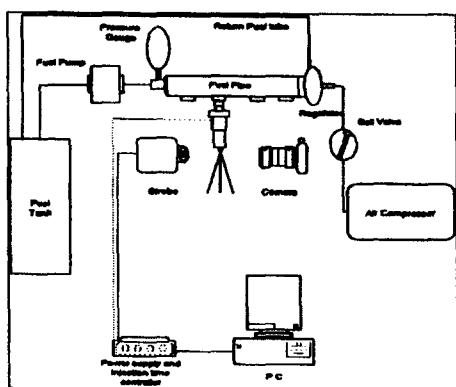


Fig. 2 Visualization system of jet breakup mode.

3. 계측장치 및 방법

본 연구에서 사용한 액적크기 계측방법은 화상이 갖는 휘도와 농도의 정도를 디지털 양으

로 양자화하여 정량적으로 처리하는 PMAS (V-TEK, MXII)로서 Fig. 3과 같이 광 지속시간이 50ns인 이중방전광원, CCD카메라(관촬영역 3 \times 3mm), 렌즈, ND필터, 화상기록을 위한 frame grabber(512 \times 480, 30frame/s), 4-ch제어보드, PC등으로 구성되어 있다.

본 계측장치는 촬영된 화상으로부터 데이터를 획득하기 때문에 화상과 실제 액적과의 정확한 상관관계를 확립하고 보정함으로써 결과치의 신뢰도를 높일수 있다. 본 연구에서는 조정된 확대비와 보정비를 각각 2.38과 0.5를 입력하였다.

Fig. 4는 본 연구에서 측정한 액적크기 계측 위치를 보이고 있다. 본 연구에서는 흡입밸브 주위에서의 액적크기분포를 계측하기 위하여 실제기관에서 인젝터 출구로부터 흡입밸브까지의 거리가 약100mm임을 고려하여 분무는 축대칭이라 가정하고 편평형 인젝터의 분무중심축을 중심으로 반경방향으로 4mm간격으로 이동하여 측정하였다. 또한 4공2분무형은 인젝터를 중심으로 대칭되는 2분무로 구성되어 있으므로, 한 분무를 선택하여 인젝터 중심에서 반경방향으로 2mm씩 이동해가면서 다수의 액적이 존재하는 곳을 분무중심 축으로 설정하고 그 지점으로부터 반경방향으로 2mm씩 계측하였다.

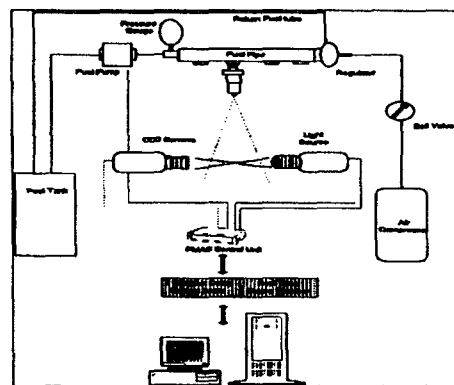


Fig. 3 Schematic diagram of droplet size analysis system.

PMAS는 순간광원을 이용하여 데이터를 획득하기 때문에 공간적인 분포를 구하기 어렵

다. 따라서 공간적인 분포를 얻기 위해서는 극부적인 위치에서 여러 번 재측하여 누적된 평균값을 구하게 되는데 이때 구해진 SMD가 최소 오차를 가지는 최소 역적수가 필요하다. Fig. 5는 샘플링 역적수 변화에 대한 SMD의 변화를 도시한 것이다. 샘플링 수가 증가할수록 SMD값은 변동폭이 점차 감소하여 약 2000개 이상에서는 거의 일정하게 안정되고 있다.

따라서 본 연구에서는 2000개의 역적을 샘플링하여 평균역적크기를 구하였다.

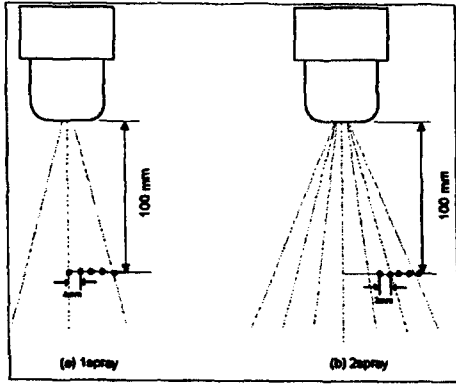


Fig. 4 Drop size measuring position.

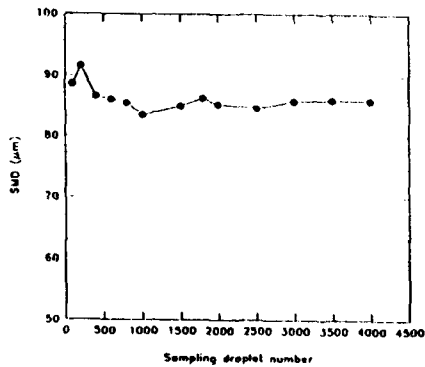


Fig. 5 Effect of sampling droplet number on SMD (Pintle type, $p=0.33\text{MPa}$)

4. 결과 및 고찰

4.1 연료분사량특성

사이클당 분사되는 연료량을 알아보기 위해 인젝터에서 3000회 동안 분사되는 연료를 측정

하여 질량을 측정하고 사이클당으로 환산하였다. 분사기간(t_d)은 1.7ms - 10ms로 변화물 주었으며 분사압력은 0.33, 0.40, 0.45MPa로 변화물 주며 실험을 수행하였다. 분사주기는 실제 기관의 아이들링 상태인 600rpm에 해당하는 200ms로 하였다.

Fig. 6은 핀틀형과 4공2분무형 인젝터에서 사이클당 연료분사량에 대한 분사압력과 분사기간의 영향을 나타낸 것이다. 분사압력과 분사기간이 증가하면 연료분사량은 증가하고 있다. 분사기간이 2.5ms이후부터는 분사량은 선형적으로 증가하는데 분사량에 미치는 분사초기와 분사말기의 영향이 감소함을 알 수 있다.

Fig. 7은 단발분사연료량을 단위시간당의 분사량으로 도시한 것이다. 분사기간이 3ms이후부터는 분사율이 일정해짐을 알 수 있는데 이것은 분사기간이 짧을수록 분사량에 미치는 분사초기와 말기의 영향이 크기 때문이며 분사기간이 증가하면 이 영향은 무시할 수 있을 정도로 작아지며 일정하게 된다고 판단된다. 즉 분사기간이 길수록 분사율은 주분류의 영향을 크게 받게 된다. 따라서 본 연구에서는 주분류의 분무특성을 규명하기 위하여 연속분무상태에서의 역적크기와 역적크기분포를 분석하였다.

4.2 분무형상 및 분열과정

액체의 분열 현상은 주어진 에너지에 의해 순간적으로 분열하는 것이 아니라, 일련의 과정을 통하여 분열하여 역적을 형성한다. 따라서 본 연구에서는 인젝터에서 분사되는 연료의 분열과정 및 분무형상을 관찰하기 위해 분사개시후 0.1ms간격으로 분사말기까지 사진 촬영을 하였다. 분사기간은 3ms, 분사압력은 0.33MPa 이었다.

본 연구에서는 분사기간에 따른 분무형상의 발달과정을 고찰하기 위하여 먼저 단발분무의 재현성을 확인하였다. Fig. 8은 핀틀형과 4공2분무형 인젝터에서 분무형상의 재현성을 확인하기 위해 촬영한 사진이다. 분사압력은 0.33MPa일 때, 인젝터 분사개시 후 핀틀형은 2.1ms, 4공2분무형은 1.9ms 지연된 시점에서의

분무형상을 나타내는데 모두 동일한 형상을 보이고 있다. 따라서 본 연구에서 사용한 촬영시스템은 획득한 영상의 재현성이 있음을 알 수 있다.

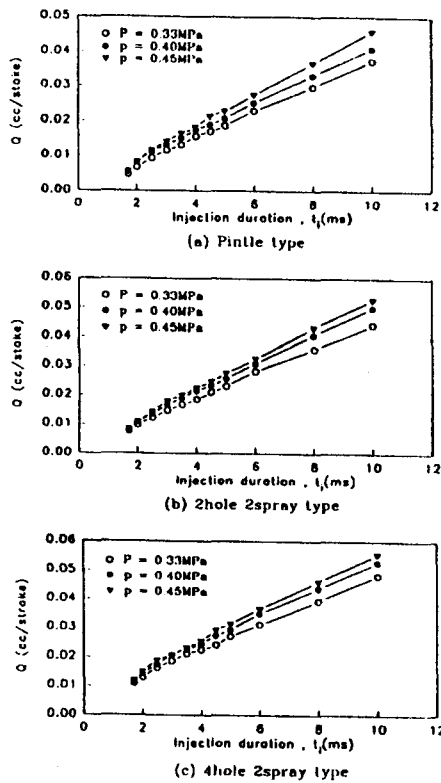


Fig. 6 Fuel Flow rate distribution with injection duration and injection pressure

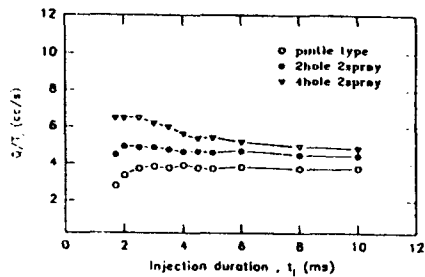


Fig. 7 Fuel discharge rate ($p=0.33\text{MPa}$)



(a) Pinle type injector ($p=0.33\text{MPa}$)



(b) 4hole 2spray injector ($p=0.33\text{MPa}$)

Fig. 8 Verification of spray reappearance in two type injectors

Fig. 9는 핀틀형 인젝터에서 분사압력이 0.33MPa일 때 분사시간 변화에 따른 분무발달 과정을 보이는 사진이다. 분사개시 신호 후 약 2.0ms에서 연료가 액주형태로 분사되기 시작하고 분무의축부가 위로 상승하는 현상 즉 mushroom현상이 발견되었다. 이 현상은 분사 초기에는 이전 분사에서 전부 분출되지 못하고 남은 잔유 연료가 갑작스런 니들의 개도에 의해 저속으로 분사되어 나오다가 주위 공기의 저항에 의한 관성력에 의해 속도가 감소될 뿐만 아니라 뒤에 따라 오는 분류와의 충돌에 의해 형성된다. 연료분사 개시 후 2.3ms에서부터 주류가 발생하기 시작하여 2.8ms이후에는 정상적인 주분류가 분출하고, 그 이후부터 안정된 분류가 5.0ms까지 지속되었다. 이 기간에는 연료분류는 연료막으로 형성되고, 이 연료막이 분열됨을 볼 수 있다. 그 후에는 주류가 더 이상 나타나지 않으며 연료 분류 중심에 공기백이 존재하는 형상을 보이고 있다. 이는 니들이 하강함에 따라 연료 유량 감소와 연료분사압력의 변동으로 인해 연료분류에 주어지는 에너지의 양이 달라지기 때문에 비롯된 것으로 판단된다. 이 분석결과로부터, 핀틀형 인젝터의 연료분무 모드를 분사시간에 따라 3단계로 구분한다면 연료 분사개시후 2.7ms까지는

mushroom mode, 2.8ms에서 5.0ms 까지는 main jet mode, 그 이후부터 분사말기까지는 air bubble mode로 나눌 수 있다. 또한 분무는 하류로 갈수록 원추형으로 확산되는 형상을 가지고 있기 때문에 최근에 보급이 활성화된 사이마이즈 형상인 DOHC용 흡기포트의 내벽에 벽류를 발생시킬 가능성이 클 것으로 판단되어진다.

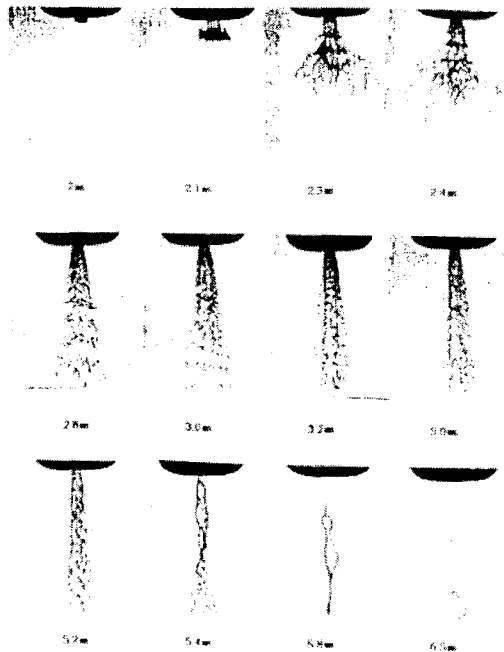


Fig. 9 Spray development with injector time in pintle type

Fig. 10은 분사압력이 0.33MPa일 때 4공2분무형 인젝터의 연료 분무발달과정을 보여준다. 핀플형과는 달리 2분무형상을 보이므로 흡기포트 내벽에 핀플형에 비해 벽류를 감소시킬 수 있을 것이다. 분사초기에는 단일분무처럼 분사되며 2.0ms이후부터 2분무의 형태로 발달됨을 알 수 있다. 이는 분사초기에 노즐내부에 잔류

된 연료가 내부압력으로 인해 액주형태로 밀려 나오기 때문이며, 시간경과에 따라 니들이 상승함으로서 연료에 가해지는 압력에너지의 증가로 인해 연료분류의 속도는 증가하게 되고 각각 독립된 분무로 발달되는 것으로 판단된다. 이때부터 분무는 정상적인 주 분류가 발달하기 시작하여 6.2ms까지 지속되다가 이후부터 다시 분류는 비정상적인 분류로 발달하면서 연료분류의 직경이 감소하기 시작하며 하류 방향으로의 확산이 줄어들음을 볼 수 있다.

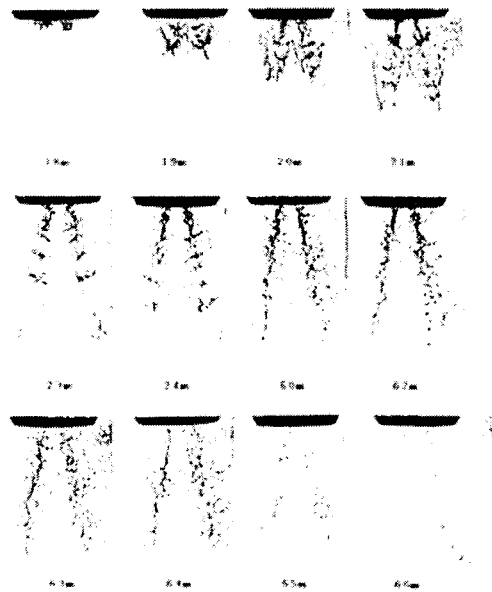


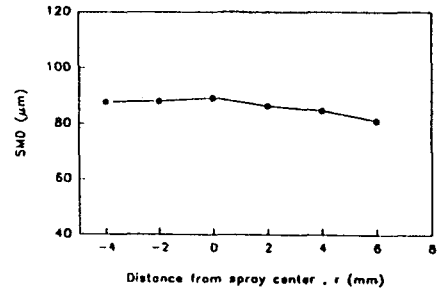
Fig. 10 Spray development with injector time in 4hole-2spray type

4.3 평균액적크기 및 액적크기분포

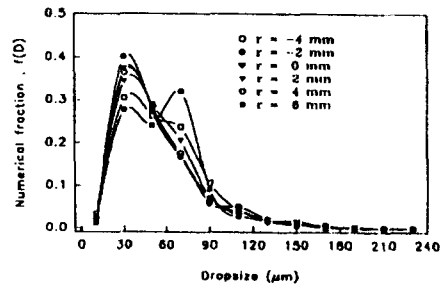
Fig.11은 핀플형 인젝터의 자유분무시 분무 중심에서 반경방향의 국부적인 SMD 분포와 액적크기 분포를 보여주고 있다. 연료분사압력은 0.33MPa로 일정하게 하였으며, 계측은 인젝

터 선단으로부터 하류방향으로 100mm지점, 반경방향으로 r=0, 4, 8, 12, 16mm지점에서 수행하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 분무의 평균직경은 분무의축으로 갈수록 약간 감소하지만 큰 차이는 보이지 않는다. 그러나 액적크기분포에서는 분포특성을 크게 구분할 수 있었다. 분무 중심에서는 작은 액적들과 중간의 액적들이 주가 되어 분포되어 있는 반면 r=8 mm부터는 중간 크기의 액적들이 균일하게 나타나고 있다. 이는 분무의축부 액적들의 유속이 감소됨으로써 주위공기와의 상대속도가 감소되므로 공기의 영향을 덜 받게 되어 분산이 주류보다는 약하기 때문이라고 볼 수 있다. 즉 분무중심에서는 35 μ m부근에서 최대 피크점을 갖고 75 μ m부근에서 두 번째 피크점을 갖는 bi-mode분포특성을 갖는데 외측부로 이동할수록 35 μ m의 피크는 줄어드는 반면 75 μ m의 피크는 계속 증가하여 r=16mm에서는 첫 번째 피크는 사라지고 75 μ m에서 단일 피크를 갖는 단일모드 분포곡선의 형상을 보이고 있다. 이것은 핀틀형 인젝터의 분무 외측부는 연료액막표면에서 교란 성장하는 파에 의해 분열된 액적들이 분포되어 단일 모드 특성을 보이지만 분무 안쪽에서는 외부공기의 유입에 따른 비교적 작은 부유액적들의 비중이 크게 되어 35 μ m부근에 또 하나의 피크가 형성되기 때문이다.

Fig.12는 분무중심에서 연료분사압력변화에 대한 SMD와 액적크기분포를 보여 주고 있다. 연료분사압력은 0.33, 0.40 그리고 0.45MPa이며 노즐 선단으로부터 100mm위치에서 계측하였다. Fig.12(a)는 분사압력변화에 대한 SMD를, Fig.12(b)는 액적크기분포를 보여주고 있다. 그림(a)에서 SMD는 분사압력의 증가에 따라 감소되는 경향을 보이며 그림(b)에서는 분사압력이 0.33, 0.40MPa에서는 액적크기분포선도상에 2개의 피크점이 존재하는 bi-mode의 액적크기 분포특성을 보이고 더욱 높은 분사압력 0.45MPa에서는 두 번째 피크점이 사라지고 단일모드의 분포특성을 보인다. 이것은 분사압력이 연료를 완전히 미립화시키기에 충분치 못하여 단일모드의 분열이 이루어지지 못하고 액사의 불완전한 분열과 작은 관성력을 갖는

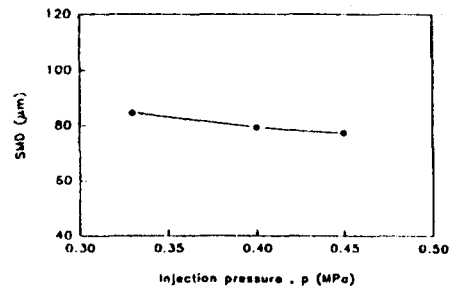


(a) SMD

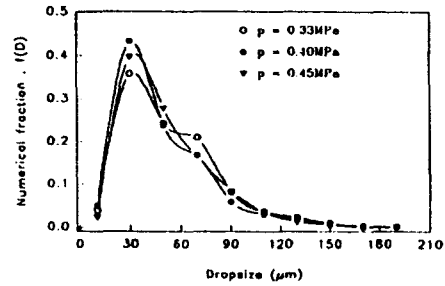


(b) Dropsize distribution

Fig.11 SMD and dropsize distribution according to radial direction (p=0.33MPa)



(a) SMD



(b) Dropsize distribution

Fig.12 SMD and dropsize distribution with injection pressure variation (r=0mm)

액적들의 합체등으로 bi-mode의 분포특성을 보인다. 그러나 분사압력이 더욱 증가하면 미립화에 필요한 충분한 에너지가 부여되기 때문에 단일모드의 분열이 이루어져 단일 피크점을 갖는 일반적인 액적크기분포 형상을 갖게 된다.

Fig.13은 4공 2분무형 인젝터의 중심에서 반경방향으로의 SMD분포를 도시한 것이다. SMD분포는 반경방향으로 20mm지점에서 액적크기가 가장 크게 나타났다. 따라서 이 지점이 분무의 중심이라 판단하고, 이 지점을 기점으로 하여 반경방향과 분사압력의 변화에 따라 액적크기를 계속하였다.

Fig.14는 분사압력이 0.33MPa일 때, 분무중심에서 반경방향에 대한 (a)SMD와 (b)액적크기분포를 도시하였다. 반경방향 변화에 대한 액적평균직경은 분무중심부에서 가장 크게 나타났으며 분무의축으로 갈수록 작아짐을 보였다. 그림(b)의 액적크기분포에서도 상당한 차이가 있음을 볼 수 있다. 즉 분무의축부로 갈수록 크기분포의 피크점이 아래로 이동하였고, 반경방향으로 r=4mm부터는 분포곡선이 bi-mode를 보이고 있었다. 이것은 분무의축부로 갈수록 액주의 표면에서 발생한 액사에서 분열된 액적들의 속도성분이 분무중심보다 작아 공기와의 상대속도 영향이 작기 때문에 보다 큰 액적들이 비중이 크게 되며, 액주에서의 분열과 그 표면에서 발생한 교란파의 성장에 의한 액사의 분열이 합성되어 나타나기 때문이라 판단된다.

Fig.15는 분무중심에서 분사압력변화에 대한 (a)SMD와 (b)액적크기 분포를 도시하였다. 분사압력은 0.33, 0.40, 0.45MPa로 변화를 주었다. 4공 2분무형 인젝터 역시 분사압력이 증가함에 따라 평균액적크기가 감소됨을 보이고 있다. 액적크기분포에서도 분사압력이 증가할수록 분포곡선의 분무폭도 좁아지고 피크점 역시 상승됨을 볼 수 있었으며, 피크점이 발생하는 위치는 일정하였다. 분무중심에서는 분사압력이 증가할수록 액주의 분출속도, 난류강도 역시 증가하여 그에 따라 공기와의 상호작용으로 인해 액적의 분열이 강화되기 때문이라 판단된다.

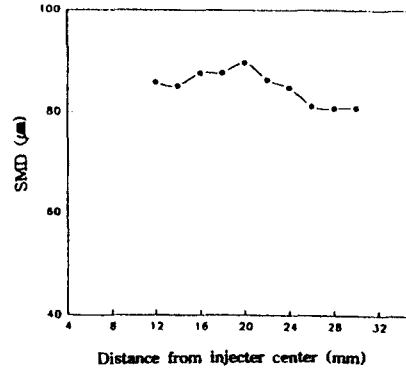


Fig.13 SMD distribution with radial variation (4-hole 2-spray, p=0.33MPa)

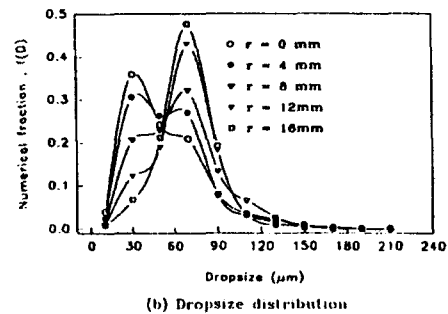
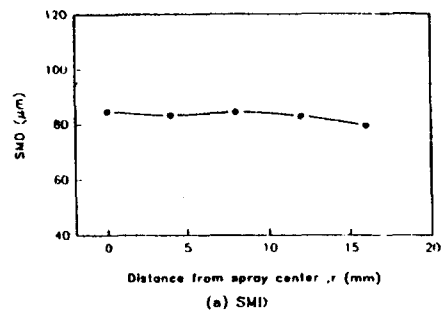


Fig.14 SMD and drop size distribution according to radial direction (4-hole 2-spray type, p=0.33MPa)

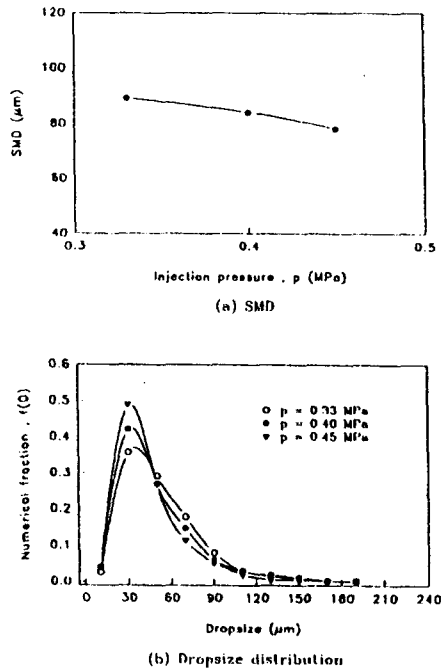


Fig.15 SMD and drop size distribution with injection pressure variation (4-hole 2-spray type, r=0mm)

5. 결 론

본 연구에서는 가솔린 엔진의 희박연소를 달성하는데 요구되는 연료공급 제어를 위한 선행 연구로서, 혼합기 형성기술을 확보하기 위하여 입자의 거동과 미립화 정도를 측정·분석하였으며 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 유량 특성 실험결과 동일 분사압력에서 편플형, 4공 2분무형 인젝터 순으로 연료분사량이 크게 나왔으며, 3ms 이상의 분출기간에서는 연료 분출량이 일정해짐을 알 수 있었다.
2. 각 인젝터에서 분사되는 연료분무의 분열 패턴을 명확히 구별할 수 있었다. 분무의 초기 분출은 액상의 분류로 분출되며, 편플형 경우 주분류 표면에 주기적인 표면파가 발견되었고, 4공 2분무형에서는 초기부터 주분류표면에 액사가 생성되어 액적으로 분열됨이 관찰되었다. 분사말기에서는 편플형은 air-bubble 형태의

분무가 이루어졌고, 4공2분무형 인젝터에서는 dripping 현상이 발견되었다.

3. 편플형 인젝터는 원추형 액막으로 분사되므로 작은 액적들의 유입등의 영향으로 분무중심과 분무의측부가 큰 편차를 보이면서 bi-mode 형태의 크기분포곡선으로 나타났다. 4공2분무형 인젝터는 solid-cone type의 액주로 분사되며 분무중심에서는 단일 피크를 갖는 크기분포를 보이나 분무의측부에서는 액적들의 불균일한 분포로 인해 bi-mode 형태의 크기분포를 보인다. 또한 분사압력이 증가할수록 미립화는 더 미세해지는 일반적인 경향을 보였다.

후 기

이 논문은 1996년도 한국과학재단의 과제번호 961-1005-041-2 연구비에 의하여 연구되었습니다. 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. J.E.Kirwan, J.A.Drallmeier, R.E.Coverdill, R.R.Crawford and J.E. Peters, "Spray Characteristics of Throttle Body Fuel Injection", SAE 890318, pp.415-424, 1989.
2. M.Kashiwaya, T.Kosuge, K.Nakagawa and Y.Okamoto, "The Effect of Atomization of Fuel Injectors on Engine Performance", SAE 900261.
3. N.Simon, Stefan Arndt and Ewald Ziegler, "Experimental Measurement Techniques to Optimize of Gasoline Injection Valves", SAE 920520.
4. W.R. Matthes and R.N.McGill, "Effects of the Degree of Fuel Atomization on Single-Cylinder Engine Performance", SAE 760117
5. J.Yang, E.W.Kaiser, W.O.Siegi and R.W.Anderson, "Effects of Port-injection Timing and Fuel Droplet Size on Total and Speciated Exhaust Hydrocarbon Emissions", SAE 930711, 1993.
6. K.Harada, R.Shimizu, K.Kurita and Motoyasu et. al., "Development of Air-assisted Injector System", SAE 920294.