

PFI용 2홀 2분무 인젝터의 비정상 분무 특성

Unsteady spray characteristics of two-holes two-sprays type injector in PFI gasoline engine

김범준*, 이재호*, 조대진*, 윤석주**
B. J. Kim, J. H. Lee, D. J. Cho, S. J. Yoon

Abstract

The effect of fuel injection spray on engine performance has been known as one of the major concerns for improving fuel economy and reducing emissions. In general, reducing the spray droplet size could prevent HC emission in gasoline engine. As far as PFI (Port Fuel Injection) gasoline engine is concerned, the mixture of air and fuel may not be uniform under a certain condition, because breakup and production of spray droplets are made in a short distance between the fuel injector and intake valve.

This study, by constituting PFI gasoline spray system, was performed to study the transient spray characteristics and dynamic behavior of droplets from 2hole 2spray type injector used in DOHC gasoline engine. Mean droplet size and optical concentration in accordance with various conditions were measured by LDPA and CCD camera. Through this study, the variation of drop size and optical concentration could be used for understanding the behavior of unsteady spray was declared and the existing the small droplets between each pulse spray could be estimated caused to the development of wall film was conformed.

주요기술용어(Key Words) : LDPA(Laser Diffraction Particle Analyzer), Unsteady Spray Characteristics(비정상 분무특성), 2hole 2spray Type Injector(2홀 2분무 인젝터)

1. 서 론

오늘날 엔진 설계는 엔진 성능을 좌우하는 구성 요소 중 가장 중요한 역할을 차지하는 연료 공급계의 개선과 국제적 공통과제인 환

경 문제로 인해 ULEV (Ultra Low Emission Vehicle)와 CAFE (Corporate Average Fuel Economy)등과 같이 갈수록 강화되고 있는 세계 각국들의 자동차 배기 규제에 대응하기 위해 연료 경제성이 뛰어나고 환경오염 물질의 배출이 적은 엔진을 개발하기 위한 방향으로 이루어지고 있다. 또한 이렇게 더욱 강

* 전북대학교 기계공학과

** 전북대학교 자동차 신기술 연구센터

화되어 가는 배기기준에 대응하여 인젝터 제 조사와 자동차 제조업체는 배기성능과 연료 절감을 달성하기 위한 연료공급시스템 개발에 치중하고 있다.

이러한 요인들을 충족시키기 위해서 연료 분사를 전자적으로 제어하여 회박 상태에서 연료를 연소시킴으로써 엔진의 성능 향상 및 연비 개선과 배기가스의 저감을 얻고자 하고 있다. 특히 가솔린 엔진에서의 미연소 탄화수소의 발생 저감은 매우 중요한 문제로 그 생성 원인은 가솔린 액체 연료의 증발 특성에 큰 영향을 미치는 분무의 입경 분포와 매우 밀접한 관련이 있다고 알려져 있다. 또한, 가솔린 엔진의 전자 제어 연료 분사 시스템의 대표적인 형태인 PFI (Port Fuel Injection) 시스템은 흡기 포트 내로 연료 제트를 직접 분사하기 때문에 흡기 포트 내의 연료 액적의 거동은 매우 복잡하고, 액적들 상호간에 충돌 및 합착 등의 과정을 통하여 분열된다. 이러한 연료의 일부는 흡기 포트의 벽면에 충돌하여 유막을 형성하고, 흡기 포트 및 흡기 밸브의 높은 온도에 의해 증발되는 과정을 거치게 된다.

근래에 많이 이용되고 있는 방법 중의 한가지인 DOHC(Double Over Head Cam)형 기관에서의 포트는 두 방향의 분무 패턴을 가진 2 분무 타입의 인젝터를 많이 부착하고 있다. 이러한 인젝터는 설계인자에 따라 포트 내벽과 밸브에 대한 연료의 부착(wall wetting) 때문에 분사방향에 따라서 흡기 포트와 연소실 벽에 연료가 고일 수 있으며 [1,2], 분사된 연료의 일부가 충분히 미립화되어 기화된 연료 증기의 상태로 유입[3-5]되지 못하고, 실린더 내에 직접 유입됨으로써 불완전 연소의 발생 빈도를 높이며, 또한 유해 배기물의 배출량을 증가시킨다. 이는 연료 분사 패턴뿐만 아니라 연료의 분사시기, 분사기간 등의 영향을 많이 받기 때문이다.

엔진 시동 시에 분사되는 연료량은 이론(stoichiometric) 혼합을 위해 요구되는 연료의 5배 이상이 되고 이 기간 동안에 공기유

량은 적으며 증발은 거의 일어나지 않기 때문에 이 연료의 대부분은 포트벽, 흡기밸브, 그리고 실린더 안에 액체 연료의 상태로 남아있게 된다. Shayler등[6]은 엔진의 시동 시의 초기 몇 사이클 동안에 과도하게 분사된 연료의 20~30% 정도만이 증기의 형태로 실린더 안에 존재하고, 또한 액체 연료는 정상적이고 과도적인 운전 조건에서도 존재한다고 보고하였다. 이 액체 연료는 액적 상태로 실린더 벽에 충돌하게 되며 피스톤링의 틈새로 들어가게 되는데 Adamezyk등[7,8]은 피스톤링의 틈새에서의 연소되지 못한 연료가 미연소 탄화수소, 즉 UHC(Unburned Hydrocarbon) 발생의 가장 주된 영향을 미친다고 보고하였다.

특히 포트 연료 분사식 가솔린 엔진에서의 연소 효율을 향상시키기 위해서는 짧은 연소기간 동안 완전한 연소가 이루어지도록 연료 액적의 충분한 미립화 및 미립화가 이루어진 액적이 공기와 혼합기를 형성하여 연소실에 균일한 분포로 유입되도록 하는 과정이 우선적으로 요구된다. 이러한 최적의 혼합기를 생성하기 위해서 연료 분무는 다양한 비정상 환경과의 상관관계가 매우 중요하다. 즉 분사기간 동안의 입경의 시간적 변화와 인젝터 주위를 흐르는 흡기의 거동 변동이 조화를 이루어야 한다. 분사된 연료분무는 공간과 시간에 대해 제한을 받으며 대부분 비정상 상태의 제트에서 분열 생성되는 분무 액적을 이용하기 때문에 기본적으로 분무의 분열 과정에 대한 시간적, 공간적인 명확한 분석과 검토가 필요하다.

Kihm[9]등은 LDPA(Laser Diffraction Particle size Analyzer)를 동기화시키는 방법을 사용하여 간헐적으로 분사되는 분무의 구조와 발달과정을 분석하였다. Parish[10]는 Kihm의 방법을 자동차 연료 분무 측정에 적용하고자 Malvern 2600 입경측정기를 사용하여 PFI 분무의 주기적인 입경 특성의 동적 거동을 측정하고 정상상태와 주기적 변동 상태에서의 SMD(Sauter Mean Diameter)를 비

교하였다. 유사한 연구로 Amer등[11]은 PDI(Phase Doppler Interferometer)를 사용하여 동종의 PFI 분무의 시간 변화에 대한 입경을 측정하고, 비정상과도 분무 특성은 분사 조건과 인젝터의 내부 구조에 의존된다고 하였다. 또한 분사 전 주기에 걸쳐 입경 정보를 합산함으로써 PDI에 의한 입경의 시간적 분석이 가능함을 밝혔다. Farrel등[12]은 GDI(Gasoline Direct Injection) 분무의 과도 특성을 연구하면서 LDPA와 디지털 영상기법과의 결합에 의한 분석을 시도하였다. Robert 등[13]은 GDI 분무의 전 분사 주기에 걸쳐 입경의 시간적 변화 양상을 보기 위하여 2kHz의 높은 시간 분해능을 갖는 LDPA를 사용하였으며 단발 영상과 시간 변화에 의한 입경 측정 정보를 비교하여 분사 주기의 타이밍에 따른 분무 구조와 입경 변화의 연계성을 밝혔다. 최근 Lee등[14]은 혼합기 형성에서 분무의 영향을 규명하기 위한 새로운 과도적 입경 측정 기법을 시도하고 타당성을 연구하였다.

인젝터의 적합성은 입경분포, 분무도달거리, 분무각등과 같은 분무특성이 분사시기와 관련하여 측정되는 시간과 공간에 따라 판단된다. 따라서 새로운 엔진 개발을 위한 인젝터의 선정과 매칭을 위해서는 분무의 비정상적인 특성에 관한 규명이 절대적으로 요구된다. 이러한 필요성에도 불구하고 지금까지의 연구는 주로 정상상태의(steady state) 분무 특성에 집중되어 있으며 분사주기를 고려한 시간적 변화에 대응하는 비정상 간헐 분무에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 인젝터에서 분사되는 연료 액적의 고속 이미지 촬영을 통한 shadowgraph법을 이용하여 분무의 분열과정을 시간에 따라 규명하고, 최근 선진국에서 시도한 새로운 측정기법을 활용하여 비정상상태의 과도적인 간헐 분무의 연료 입경 특성에 대한 분석을 목적으로 측정 시스템을 구축하고 DOHC (Double Over Head Cam) 용 가솔린 기관에서 널리 사용되고 있는 인

젝터인 PFI (Port Fuel Injection) 엔진용 2홀 2분무 인젝터의 비정상 분무의 특성을 규명하고자 한다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험 장치

본 연구에서 구성한 실험 장치는 크게 연료 분사 시스템과 분무 입경 측정 장치 및 분무 이미지 획득 장치로 나눌 수 있다.

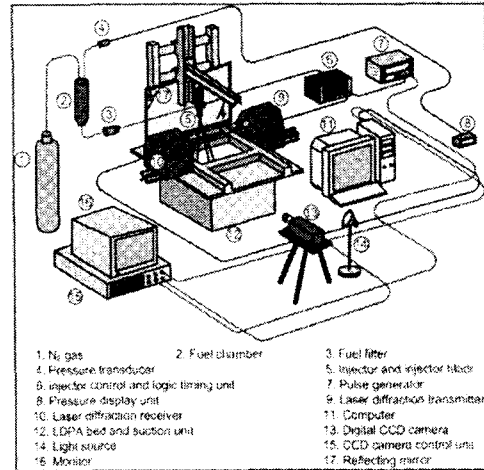


Fig.1 Schematic of experimental setup

Fig.1은 본 실험을 위해 설계·제작한 연료 분사 시스템과 분무 입경 측정 장치 및 이미지 획득 시스템의 전체적인 개략도이다. 연료는 압축 질소에 의해 가압되는 연료 챔버에서 필터를 통해 인젝터로 공급 되도록 하였다. 연료의 분사 압력은 연료 탱크 입구에서 압력 변환기로 측정하며, 압축 질소 볼베에 장착된 압력 레귤레이터에 의해 실제 가솔린 엔진에서의 일반적인 분사 압력인 0.3MPa로 설정 하였다. 실험에 사용한 인젝터는 DOHC 용 2홀 2분무 타입의 상용 인젝터이고, 인젝터의 구동 신호는 펄스 발생기(DG 535)와 인젝터 솔레노이드 컨트롤러에 의해서 분사 주기와 분사 기간을 제어하였다.

분무의 미시적인 특성인 평균 입경과 입경 분포를 계속하기 위해서 광학적 계속 장치인

LDPA(Laser Diffraction Particle Analyzer)를 사용하였다. 레이저 회절 입경 측정 장치는 Sympatec GmbH사의 HELOS /Vario-KF로 출력 5mW, 파장 633nm, 빔의 직경이 13mm의 He-Ne 레이저이고, 1.75~350 μ m의 입경 측정 범위를 가지고 초점거리가 200mm인 렌즈를 사용하여 실험을 수행하였다. 또한 인젝터를 구동시키는 펄스의 신호와 동기된 신호에 의해 인젝터 구동 시작과 동시에 측정이 이루어지도록 하였다. 인젝터에서 발생하는 분류의 분열 현상을 가시화하기 위한 이미지 획득 시스템은 펄스 발생기와 인젝터 컨트롤러에 의해 인젝터를 구동시키고 그 구동 신호와 동기화된 신호에 의해 카메라 컨트롤 유닛이 디지털 CCD카메라를 작동하게 하였다. 디지털 CCD카메라는 Photron사의 Fastcam-ultima 40K를 이용하여 초당 4500 프레임의 분해능으로 촬영하였으며, 이미지는 256(V) \times 256(H)의 해상도로 획득하였다. 광원은 필라멘트 타입으로 카메라와 같은 방향에 위치하였고, 분무의 반대편에 반사판을 설치하여 역광으로 이미지를 획득하였다.

2.2 실험 조건 및 방법

실험은 분사 개시 후 시간 경과에 따른 액적의 과도적인 거동을 살펴보기 위해서 0.5ms 간격으로 분무 액적의 평균 액적 직경과 크기 분포를 측정 하였다. 측정 위치는 실제 가솔린 엔진에서 인젝터 팁과

Table 1 Experimental condition

Parameter	Condition	
Fuel	Density	780.1 kg/m ³
	Dynamic Viscosity	0.0012 N · s/m ²
Injector type	2 holes 2 sprays type	
Injector pressure	0.3 MPa	
Injector period	20, 40, 60, 80 ms	
Injector pulse width	4, 6, 8, 10 ms	
Measuring position	90 mm below from injector tip	

흡기 밸브 사이의 거리를 고려하여 레이저 빔의 중심이 인젝터 팁 선단으로부터 하류 방향으로 90mm 떨어진 지점으로 하였다. 인젝터의 분사조건은 실제 가솔린 엔진의 3,000rpm 회전수일 때의 인젝터 신호 펄스가 30~40Hz인 것을 고려하여, 35Hz일 때의 분사 주기인 40ms를 기준으로 간헐분사에서 측정 인자들에 미치는 인젝터의 분사 주기와 분사 기간의 영향을 규명하기 위하여 분사 주기를 20, 40, 60, 80ms로 설정하였고, 분사 기간은 각각 4, 6, 8, 10ms로 하여 각각의 조건에서 실험을 수행하였다. 실험을 위해 선정된 조건은 Table 1과 같다.

3. 실험 결과 및 검토

3.1 단발 분사의 분무 평균 입경 및 분포

인젝터에서 연료가 단발로 분사 되었을 때 액적의 시간에 변화에 따른 동적 거동을 살펴보기 위하여 분사 기간을 73ms로 충분히 길게 하여 실험을 수행하였다. Fig.2는 이 실험의 결과로 분사 개시 후 시간에 대한 평균 액적 직경(DV50 : 체적 누적치의 50%에 해당하는 입경 또는 질량 중심 입경인 MMD)과 광학적 농도(Optical concentration)의 변화를 도시한 것이다.

분사 개시 후 약 10ms에서 광학적 농도가 급격히 증가하는 것으로 보아 분무의 선단이 측정위치에 도달하였음을 알 수 있다. 이때의 평균 액적 직경은 173.83 μ m이었고, 시간이 지남에 따라 점차적으로 줄

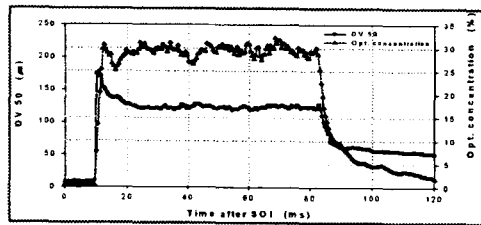


Fig.2 Time-resolved drop size and optical concentration at 90mm below from injector tip (pulse width : 73ms)

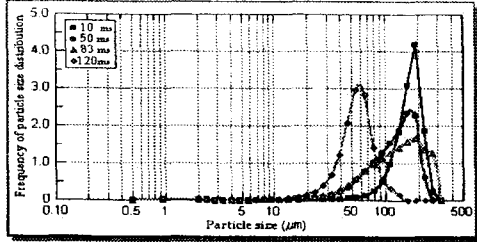


Fig.3 Drop size distribution of each time delays after SOI

어들어 주 분무가 통과하는 시기에는 약 120 μm 로 일정해짐을 알 수 있다. 또한 광학적 농도 역시 평균 액적 직경의 시간에 따른 거동과 유사한 형태를 나타내는 것을 알 수 있다. 이는 인젝터의 니들이 분사 개시 후에 갑작스럽게 열리게 되므로 관성력에 의해서 분사 초기의 연료는 매우 큰 액적을 분출하게 되지만, 일정 시간이 경과한 후에는 니들이 완전히 열려져 있는 상태에서 분사가 진행되기 때문에 안정된 분사 압력으로 분무가 정상상태로 발달되어가는 거동을 보이는 것을 알 수 있다.

또 Fig.3은 분무의 선단이 측정 위치를 통과하기 시작하는 시각(분사 개시 후 10ms)과 주 분무가 지나는 시각(분사 개시 후 50ms), 그리고 주 분무의 끝단이 통과하는 시각(분사 개시 후 83ms)과, 분무가 완전히 통과한 시각(분사개시 후 120ms)에서의 분무 액적의 크기 분포를 나타내었다. 분무 액적들은 분무 선단이 지나기 시작하는 시각에서보다 그 이후로 갈수록 점차 넓은 크기 분포를 갖는 경향을 알 수 있다. 이는 분무 초기에는 비교적 직경이 큰 액적들이 균일하게 분포하지만 분무가 진행 될수록 미립화에 의해 분열된 작은 액적들이 발생되어 측정 위치에 존재하기 때문으로 판단된다. 또한 분무가 완전히 지나간 후인 분사 개시 후 120ms에서는 광학적 농도가 약 4% 이하로 매우 낮지만, 평균 액적 직경이 약 50 μm 정도의 액적이 존재하는 것으로 나타났다. 이는 분사 개시 후에 운동량이 작고 크기가 작은 액적들이 측정 위치에 아직 존재하기 때문으로 판단되며, Fig.3의 액적 크기의 분포를 보면 이 현상을 명확

히 알 수 있다. 또한 이 액적들은 시간이 지남에 따라 점차로 측정위치를 벗어나게 되어 그 양이 적어짐을 알 수 있다.

3.2 간헐 분사의 분무 이미지 분석

본 연구에서는 연료의 분열 과정과 분무 형상을 관찰하기 위해서 분사 개시 신호와 동시에 4500fps의 분해능으로 디지털 CCD 카메라를 이용하여 분무 이미지를 연속 촬영하였다. 분사 압력은 0.3MPa, 분사 주기는 40ms, 분사 기간은 8ms의 조건에서 촬영하였다.

Fig.4~6은 각각 분무의 정면과 측면 그리고 45°의 경사로 인젝터를 설치하였을 때의 측면의 분무 이미지를 분사 개시 후 시간의 경과에 따라 나타낸 것이다. 분사 개시 신호 후 약 1.8ms의 분사 지연 시간 후에 분무는 액주 형태로 분사되기 시작하고, 분사 초기에는 두 개의 분무 사이에 간섭현상이 나타나며 시간 경과 후 간섭현상이 약해짐에 따라 2분무로 발달됨을 알 수 있다. 이는 분사 초기에는 이전에 분사되지 못하고 인젝터 내부에 잔류된 연료가 내부 압력과 관성력으로 인해 액주 형태로 단순히 밖으로 밀려나오기 때문이며, 분사 개시 후 시간의 경과에 따라 니들이 상승함으로서 노즐 외부에 분출된 연료에 가해지는 압력에너지의 증가로 인해 연료 분류의 속도가 증가되고 따라서 각각 독립된 분무로 발달되는 것으로 판단된다. 이때부터 분무는 정상적인 주 분류가 발달하기 시작하여 11.8ms까지 지속되다가 이후부터 다시 분류는 비정상적인 분류로 되어 연료 분류의 직경이 감소하기 시작하며 하류 방향으로의 확산이 줄어드는 것을 볼 수 있다.

수직 하류 방향으로 분사되는 분무와 45°의 경사를가지고 분사되는 분무를 비교해보면 수직 방향에 비해 경사를 가지고 있는 분무의 중심축에 대한 대칭성이 낮은 것을 볼 수 있다. 이러한 현상은 분무가 하류로 갈수록 더욱 심해지는 것을 알 수 있다.

이는 분무된 액적에 작용하는 중력의

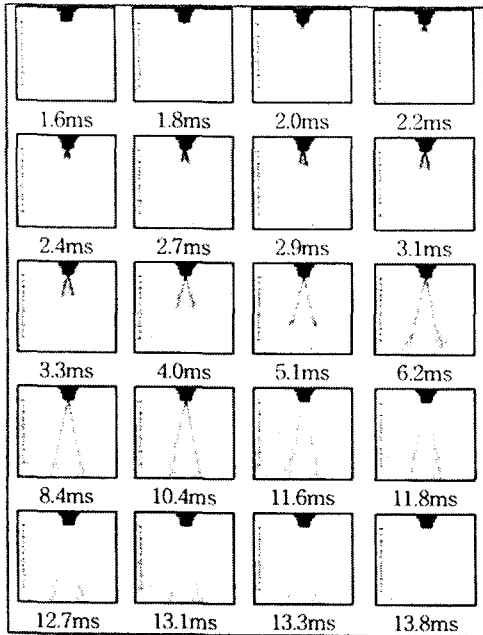


Fig.4 Spray development with start of injection time in injector (front view)

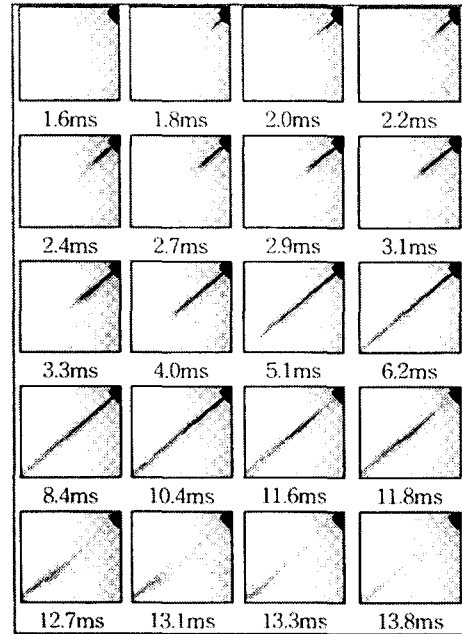


Fig.6 Spray development with start of injection time in injector (side view, 45°)

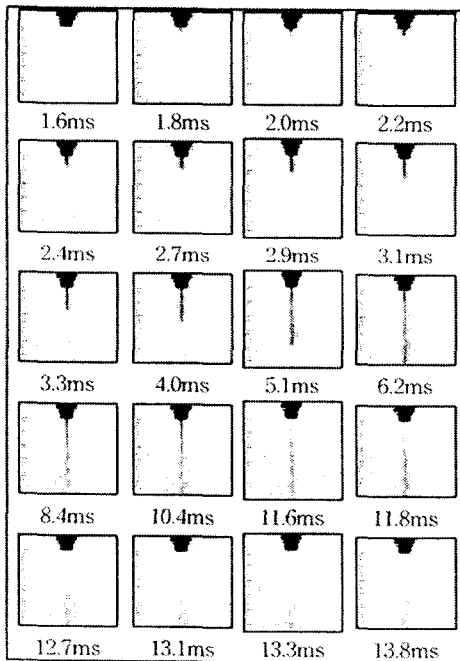


Fig.5 Spray development with start of injection time in injector (side view)

영향으로 판단되며 운동량이 작고, 크기가 작은 액적들에 이러한 중력의 영향이 더욱 큰 것을 알 수 있었다.

3.3 간헐 분사의 분무 입경 및 분포

Fig.7은 분사 주기가 40ms이고, 분사 기간이 8ms일 때 분사 개시 후 0.5ms 간격의 시간 변화에 따른 연료 분무의 평균 액적 직경 (DV50)과 광학적 농도 값의 변화를 도시한 것이다.

분무의 선단이 측정위치에 도달하는 시간의 평균 액적과 광학적 농도의 변화는 간헐 분사의 경우 단발분사의 경우와 유사한 경향을 보이는 것을 알 수 있다. 하지만 분무의 끝단이 측정위치를 통과하는 시간에는 간헐 분사의 경우 단발 분사의 경우와는 다르게 평균 액적과 광학적 농도가 순간 증가하는 경향을 볼 수 있다. 이는 간헐 분사의 경우 분사 기간이 매우 짧아 분무가 정상상태로 발달하기 전에 니들이 순간적으로 닫히기 때문으로 판단된다. 분사 개시 후 8ms 후에 광학적 농도의 값이 9.12%로 증가한 것으로 보아 연료

분무의 선단이 측정위치에 도달하였음을 알 수 있다. 첫 번째 피크점은 8.5ms에서 나타났으며, 평균 액적 직경은 191.1 μ m이고, Fig.8에 이때의 액적 크기 분포를 도시하였다. 8.5ms에서 16ms 까지는 주 분무가 통과하는 기간으로 판단되며, 평균 액적 직경은 약 150~180 μ m 범위 내에 존재하였다. 주 분무가 통과하는 기간의 평균 액적 직경의 변화가 심한 이유는 아직 분무가 정상상태로 발달되지 않았기 때문으로 판단된다. 또한 분무의 끝단이 지나간 후인 약 30ms 이후에는 광학적 농도의 값이 4% 이하이고, 평균 액적 직경이 약 60 μ m 정도로 측정되는 것은 운동량이 작아서 상대적으로 속도가 느리고 크기가 작은 액적들이 측정 범위 내에 아직 존재하기 때문으로 판단된다. 또한 Fig. 8에서 주 분무가 통과한 직후인 15ms일 때의 액적 크기 분포는 분무의 선단이 지날 때인 8.5ms일 때보다 상대적으로 액적의 크기 분포의 범위가 넓은 것을 알 수 있다. 이는 분무가 미립

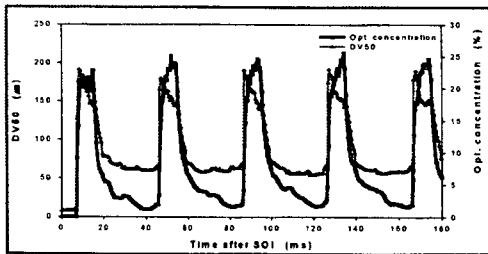


Fig.7 Time-resolved drop size and optical concentration at 90mm below from injector tip (period : 40ms, pulse width : 8ms)

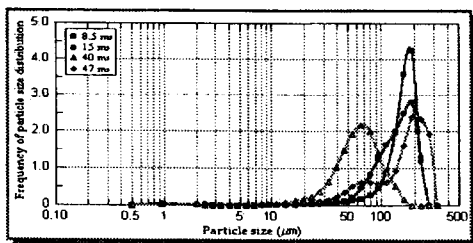


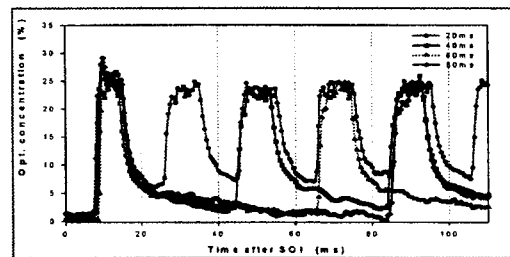
Fig.8 Drop size distribution of each time delays after SOI (period : 40ms, pulse width : 8ms)

화에 의해서 작은 액적들로의 분열이 일어나 액적의 크기가 넓은 분포를 나타내는 것으로 판단된다. 또한, 분무의 끝단이 통과한 후인

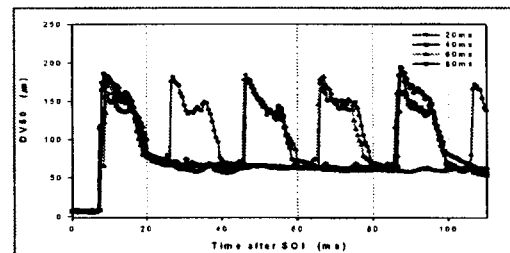
40ms의 액적 크기 분포는 비교적 작은 액적들이 균일하게 분포하고 있음을 알 수 있다. 두 번째 분무가 측정위치에 도달한 시간은 47ms(광학적 농도 : 10.62%)이며, 평균 액적 직경은 165.44 μ m 이다. 이때의 액적의 크기 분포는 두 개의 피크를 가지고 있는 분포로써 첫 번째 분무와는 다른 경향이 나타난다. 두 번째 분무의 분포에서 작은 액적들이 일부 존재하는 것은 첫 번째 분무 액적들 중에서 운동량이 작은 액적들이 측정 위치에 아직 존재하고 있어 두 번째 분무에 의한 액적들과 같이 공존하기 때문으로 판단되며, 이러한 경향은 두 번째 이후의 분무에서도 반복적으로 나타남을 알 수 있었다.

3.3.1 분사 주기의 변화

분사 주기에 따른 분무 액적 크기의 시간 변화를 살펴보기 위하여 분사 기간을 8ms로 일정하게 하고, 분사 주기를 20, 40, 60, 80ms로 변화시켜 각 조건



(a) Optical concentration



(b) DV50

Fig.9 Optical concentration and particle mean drop size in accordance with injection period (pulse width : 8ms)

에서 실험을 수행하였다. Fig.9는 분사 기간이 8ms로 일정할 때 분사 주기의 변화에 따른 광학적 농도와 평균 액적 직경을 도시한

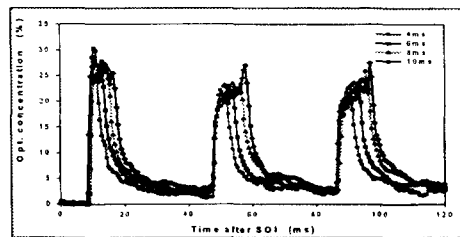
것이다. Fig.9(a),(b)에서 보면 분사 주기의 변화는 분사 기간의 변화와 마찬가지로 분무의 초기와 분무의 말기 영역에서의 평균 액적 직경과 광학적 농도의 변화 경향은 일치함을 할 수 있다. 주 분무 영역에서의 광학적 농도는 대략 25%정도, 평균 액적 직경은 150~190 μm 로 비슷함을 알 수 있었다. 또한 분사 주기가 늘어남에 따라 이전 분무와 다음 분무사이의 시간 간격이 늘어나기 때문에 분무의 사이에 존재하는 이전 분무의 작은 액적들에 의한 광학적 농도의 변화는 점차적으로 줄어드는 경향을 보이고 있다. 하지만 분무사이에서의 액적 크기는 약 60 μm 로 일정해짐을 볼 수 있는데, 이는 분사 주기가 60ms까지 증가되어도 여전히 작은 액적들이 측정 위치에 존재하고 있기 때문으로 판단된다.

3.3.2 분사 기간의 변화

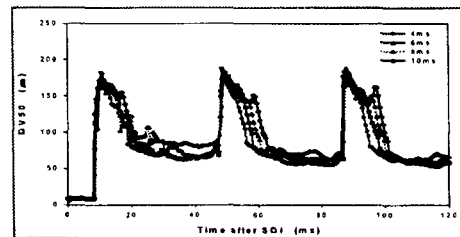
Fig.10은 분사 기간의 변화에 따른 분무 액적 크기의 시간 변화를 알아보기 위해 분사 주기를 40ms로 일정하게 하고, 분사 기간의 변화를 4, 5, 8, 10ms로 변화를 주어 분사 개시 후 시간의 경과에 따라 광학적 농도 평균 액적 직경을 도시한 것이다. Fig.10(a)에서 보면 분사 기간의 변화에 관계없이 분무의 초기와 분무의 말기 영역에서의 광학적 농도의 변화 경향은 동일함을 알 수 있다. 주 분무 영역의 광학적 농도는 대략 25%정도로 모든 조건에서 비슷하였으며, 분사 기간에 비례하여 주 분무 기간의 폭이 넓어졌음을 알 수 있다. Fig.10(b)에서의 평균 액적 직경은 주 분무 기간에서 약 150~190 μm 로 비슷하였으며, 분무의 초기와 말기 및 주 분무 기간에서 평균 액적 직경의 변화가 광학적 농도 변화의 경우와 동일한 경향을 나타내고 있다.

Fig.11은 첫 번째 분무의 선단과 두 번째 분무 선단의 액적의 크기 분포를 알아보기 위하여 분사 개시 후 8ms와 48ms의 액적 크기 분포를 분사기간의 변화에 따라 도시한 것이다. 첫 번째 분무인 8ms에서는 이전에 분사된 연료가 없기 때문에 분사 기간을 달리 하여도 액적의 크기 분포가 거의 유사하게 나

타났다. 하지만 두 번째 분무가 측정 위치에 도달하는 시점인 48ms에서는 첫 번째 분무에서 상대적으로 운동량이 작은 액적들이 측정 위치에 잔존하고 있어서 액적 크기 분포에 영향을 미치는 것을 알

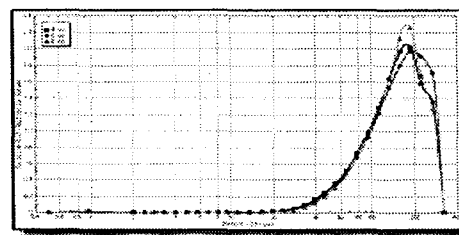


(a) Optical concentration

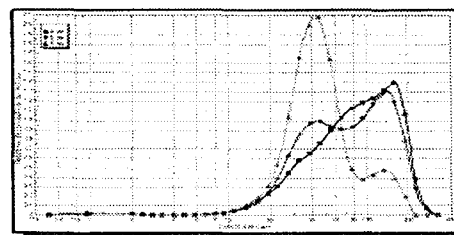


(b) DV50

Fig.10 Optical concentration and particle mean drop size in accordance with injection pulse width (period : 40ms)



(a) 8ms



(b) 48ms

Fig.11 Drop size distribution of 8ms and 48ms after SOI

수 있다. 이 잔존 액적들은 분사 기간이 짧을수록 측정 위치에 더욱 많이 남아 있기 때문에 다음 분무의 액적들에 영향을 많이 미치는 것으로 판단된다. 이 잔존 액적들에 의해서 두 번째 분무가 빔에 도달하는 시간인 48ms에서의 광학적 농도는 약 4%로 동일하지만, DV50은 94.79, 156.76, 165.87 μm 로 각각 다르게 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 SI엔진에서 사용되는 PFI용 2홀 2분무 타입의 가솔린 인젝터의 간헐적인 분사에서의 비정상 분무의 미립화 특성을 연구하기 위하여 인젝터에서 분사되는 연료 분무의 이미지를 가시화하고, 인젝터 팁 선단으로부터 90mm의 지점에서 분사 주기와 분사 기간에 따른 평균 액적 직경과 크기 분포를 계측하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 인젝터의 단발 분사에서의 분무 평균 액적 직경 및 액적의 크기 분포를 실험을 통해 알아본 결과 분무의 초기에는 평균 액적 직경 및 광학적 농도가 순간적인 니들의 개방에 의해 높은 값을 가지게 되고, 분사 개시 후 시간의 경과에 따라 차츰 정상상태의 분무로 발달해 감을 알 수 있었다. 또한, 연료 액적의 크기 분포를 살펴본 결과 분무 초기에는 상대적으로 큰 액적들이 측정위치에 많이 존재하지만, 시간이 경과함에 따라 점차 작은 액적들의 수가 많아지는 것을 알 수 있었고, 분사 종료 후에도 크기가 작고, 운동량이 작은 액적들이 계속해서 측정위치에 잔존해 있음을 알 수 있었다.
- (2) 분사 간헐 조건의 이미지 분석 결과 분무의 초기 분출은 액주의 형태로 발생하여, 점차 적으로 액적으로 분열됨이 관찰되었다.
- (3) 간헐적인 분사의 분무 평균 액적 직경과 액적의 크기 분포는 분사 초기에는 단발 분사와 같은 형태를 보였지만, 분사 말기에는 분무가 정상상태로 발달하기 이전에 니들이 닫히게 되어 단발 분사와는 다르게 직경이 큰 액적들이 다시 발생하는 것을 알 수 있었

다. 또한, 이전 분사에 의해 형성된 운동량이 작은 액적들이 측정 위치에 잔존하고 있어 다음 분사 초기의 액적 크기 분포에 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다.

- (4) 간헐 분사 조건에서 분사 주기를 변화시켜 수행한 실험을 통해 분사 주기가 길어질수록 이전 분무의 잔존 액적에 의한 다음 분무의 액적 크기 분포에 의한 영향은 점차 줄어들어 가는 경향을 알 수 있었다.

- (5) 간헐 분사 조건에서 분사 기간을 변화시켜 수행한 실험을 통해 분사 기간이 길어질수록 분무사이의 시간 간격이 짧아짐으로 인해서 이전 분무의 잔존 액적의 다음 분무의 액적 크기 분포에 의한 영향이 더욱 커짐을 알 수 있었다.

후기

본 연구는 2004년도 전북대학교 연구비 지원으로 이루어졌으며, 관계 제위께 감사드립니다.

참고문헌

- M. N. Lisa., M. W. Robert., and A. D. James., "Fuel Droplet Entrainment Studies for Minimization of Cold-Start Wall-Wetting", SAE Paper, No.950508, 1989.
- T. Johnen., M. Haug., "Spray Formation Observation and Fuel Film Development Measurements in the Intake of a Spark Ignition Engine", SAE Paper, No.950511, 1995.
- N. Nakamura, K. Nomura., and M. Suzuki., "Key Factors of Fuel Injection System to Draw Out Good Response in 4-Valve Engine", SAE Paper, No.870126, 1987.
- K. Oshige., et. al., "New Fuel Injection Methode of Better Drive-ability", SAE Paper, No.880420, 1988.
- S. Robert., and C. F. Aquime., "Transient

A/F Characteristics for Cold Operation of a 1.6 Liter Engine with Sequential Fuel Injection", SAE Paper, No.880691, 1988.

P. J. Shayler., R. M. Isaacs., and T. H. Ma., "The Variation of In-Cylinder Mixture Ratios During Engine Cranking at Low Ambient Temperatures", IMech, Journal of Automobile Engineering, Vol. 2, pp. 572~578, 1992.

A. A. Adamezyk., E. W. Kaiser, and G. A. Lavoic., "An experimental study of hydrocarbon emissions from closed vessel explosions", Eighteens International Symposium on Combustion, Vol. 3, pp. 1695~1702, 1981.

A. A. Adamezyk., E. W. Kaiser, and G. A. Lavoic., "A combustion bomb study of the hydrocarbon emissions from engine crevice", Combustion Science and Technology, Vol. 33, pp. 261~277, 1983.

Kihm. K. D. and Caton. J. A., "Synchronization of a laser diffraction sizing technique with intermittent spray systems", Applied Optics, Vol. 31, No.12, pp. 1914~1916.

Parrish. S., "Spray Characteristics of Compound Silicon Micro Machined Port Fuel Injector Orifices", M. S. thesis, Department of Mechanical Engineering-Engineering Mechanics, Michigan Technological University, 1993.

A. A. Amer. and M-C Lai., "Time-resolved Measurements in Transient Port Injector Sprays", SAE 950509, 1995.

Parrish. S. and Farrell. P. V., "Transient Spray Characteristics of a Direct-Injection Spark-Ignited Fuel Injector", SAE 970629, 1997.

D. Robert. et al. "Assessment of Pulsed Gasoline Fuel Sprays by Means of Qualitative Laser-based Diagnostic

Methods", 10th International Symposium on Applications of Laser Techniques to Fluid Mechanics, Lisbon, 2000.

L. E. Markle., D. L. S. Hung., W. A. Humphrey., D. M. Chmiel., C. A. Ospina. and F. E. Brado., "A Novel Transient Frop Sizing Technique for Investigating the Role of Injector Spray in Fuel Mixture Preparation", SAE technical paper 2004-01-1349, 2004.