

직접분사식 가솔린 선회분사기 개발에 관한 연구Ⅲ Development of Gasoline Direct Swirl Injector III

박 용 국*, 오 재 건**, 이 충 원***
Young-kug Park, Jae-geon Oh, Choong-won Lee

ABSTRACT

The Gasoline Direct Injection(GDI) system has been highlighted due to the improvement of fuel consumption and the control of exhaust emission from gasoline engines. Main purpose of the present study is to measure spray characteristics of GDSI for real engine application. We have investigated experimentally spray tip penetration, spray angle, tip velocity and spatial spray distribution. Counter-rotating vortex grown on the spray surface plays an important role in the spray characteristics. Accordingly the spray tip penetration and tip velocity do not exceed 50mm, 20m/s respectively, under 0.6MPa ambient pressure. the spray cone angle of GDSI have a same tendency to a simplex swirl atomizer.

주요기술용어 : Gasoline Direct Swirl Injection(GDSI), Ambient Pressure(주위압력), Spray Spray Tip Penetration(분무도달거리), Effective Spray Cone Angle(유효분무각), Spray Tip Velocity(분무선단속도)

1. 서 론

GDI(Gasoline Direct Injection)방식은 연료를 연소실내에 직접분사하기 때문에 엔진 부하 변동에 따른 응답성이 우수할 뿐만 아니라 공연비를 정확하게 제어함으로써 고효율 연소를 실현할 수 있는 장점이 있다.

이러한 장점을 구현하기 위하여 GDI엔진용 분사기는 모든 운전 조건에서 안정된 운전성 및 반복성이 뛰어나면서 고른 분무장을 형성하여야 하며, 넓은 운전범위 내에서 유량제어 특성이 우수하여야한

다. 평균입경은 SMD와 D_{v90} 를 기준으로 각각 25 μ m, 45 μ m이하가 요구된다.

또한 침적물(deposit)에 대하여 강한 내성을 갖추어야 할뿐만 아니라 분무초기 미립화에 나쁜 영향을 미치는 섹 체적(sac volume)을 최소화하는 것이 요구된다.⁽¹⁾

이미 일본을 비롯한 외국에서는 여러 형태의 분사장치가 개발되어, 그 일부는 현재 양산단계이지만, 관련 국내연구들은 대부분 설계자료의 부재와 가공기술의 문제로 인하여 외국 분사기 제조회사에서 제공된 시제품이나 혹은 최종 개발품에 대한 외부 분무특성을 파악하는데 집중되어왔다.

이러한 이유로 GDI 엔진용 분사기의 설계에 필요한 기본자료를 확보하기 위하여 수치해석과 전자기력 해석과정에 의하여 직접분사식 가솔린 선회분

* 회원, 경북대학교 대학원 기계공학과

** 회원, 두원공과대학 자동차공학과

*** 회원, 경북대학교 공과대학 기계공학부

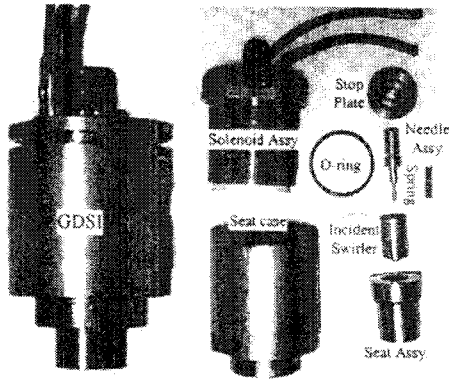
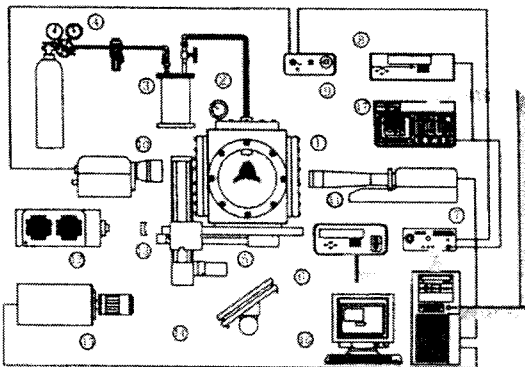


Fig. 1 Photographs of Gasoline Direct Swirl Injector



- | | |
|--------------------------|-----------------------|
| 1. High pressure chamber | 9. Light driving unit |
| 2. GDSI | 10. Dual spark light |
| 3. Fuel tank | 11. Microscopic CCD |
| 4. Nitrogen gas | 12. Argon laser |
| 5. 2-D traverse | 13. Cylindrical lens |
| 6. Traverse controller | 14. Plain mirror |
| 7. Time control unit | 15. ICCD camera |
| 8. Injector driving unit | 16. Image processor |

Fig. 2 Diagram of experimental apparatus

사기(GDSI)를 개발하여 분무특성⁽²⁾과 응답특성⁽³⁾을 파악함으로써 설계에 필요한 기초자료를 확보할 수 있었다.

본 연구에서는 GDSI의 주위압력변화에 대한 분무특성을 파악함으로써, 실제엔진에 대한 적용 가능성과 적용에 필요한 기초자료를 제시하고자한다.

2. 실험장치

2.1 인젝터(Injector)

Table 1 Specifications of the GDSI

| Item | Specifications |
|-----------------------------------|----------------|
| Nozzle shape factor(K) | 0.98 |
| Orifice diameter(d_o) | 0.9 |
| Orifice shape factor(l_o/d_o) | 0.7 |
| Swirl chamber diameter(D_s) | 3.03 |
| Swirl chamber length(L_s) | 1.03 |
| Swirl offset length | 1.2mm |
| Swirl incident angle | 120° |
| Number of swirl port | 6 |
| Needle cone angle | 140° |
| Needle lift | 100 μ m |
| Needle assy. weight | 50.133mg |

Table 2 Comparison of solenoid specifications

| Item | GDSI | HPSI |
|------------------|---------------|--------------|
| Resistance | 1.67 Ω | 1.0 Ω |
| Turns | 252 | 90 |
| Maximum current | 8A | 14A |
| Coil Diameter | 0.55mm | 0.3mm |
| Outside Diameter | 34mm | 16.0mm |
| Inside Diameter | 10mm | 9.0mm |
| Length | 25mm | 6.0mm |
| Material | Cast Iron | Func. SUS |

선회 분사기에 대한 이론적 해석과정 및 전산해석을 통하여 분사기의 형상 및 치수를 Table 1과 같이 결정하였다.⁽⁴⁾ Fig. 1은 이러한 결과를 바탕으로 제작된 GDSI의 전체 형상 및 각 부품을 나타낸 사진이다.

GDSI는 노즐 어셈블리(nozzle assembly), 솔레노이드 코일 (solenoid coil) 및 외장 몸체(body)부분으로 구성되며 이들은 나사에 의하여 서로 조립되는 구조이다. 시제품으로 제작된 분사기의 전체길이와 최대지름은 각각 150, 56mm이다.

한편 솔레노이드는 전자기력 해석과정(MagaFlux)을 통하여 제작하였으며, Table 2는 이러한 해석결과와 상용 분사기(M사)의 사양을 비교한 것이다.

2.2 분무특성 측정장치

Fig. 2는 GDSI의 분위기조건에 대한 분무특성을 파악하기 위한 실험장치를 나타낸 것이다. 실험장치는 크게 분사장치부, 실험장치 제어부 및 계측장치로 구성된다.

분사장치부는 고압 정적 연소실(1)과 GDSI(2)와 연

료탱크(3)로 구성되며 연료압력과 분위기 압력은 질소가스(4)를 조정하여 사용하였다. 연료는 물성치가 가솔린과 비슷할 뿐만 아니라 사용의 안전성을 고려하여 드라이 솔벤트(dry solvent)를 사용하였다.

실험장치 제어부는 이송장치와 이송장치 제어부(5,6), 시간제어장치(7), 분사기 및 광원 구동장치(8,9)로 구성된다. 계측장치는 분무형상 가시화 장치 및 입자계측장치로 구성된다. 분무형상 가시화 장치는 아르곤 레이저(12), 실린더형 렌즈($f=150\text{mm}$; 13) 및 ICCD 카메라(15)로 구성된다.

특히 분무조건에 따른 분무형상 변화와 분무의 공간 분포를 파악하기 위하여 레이저 시트 빔($t=1\text{mm}$)을 이용한 단층 촬영기법을 채택하였다.

3. 실험결과 및 고찰

GDI 인젝터는 높은 회전수에서도 짧은 분사기간동안 전부하(full load)를 유지하기 위해서는 충분히 큰 정적 유량(static flowrate) 및 넓은 동적유량 범위(dynamic flowrate range)를 확보해야한다. 또한 분위기 압력변화에 대한 분무도달거리, 분무각, 분열 액적의 공간분포 및 평균 입경분포 등과 같은 분무특성은 실제 엔진 적용에서 실린더 벽면 및 피스톤 크라운의 벽면적심(wall wetting) 현상 및 혼합 과정에 큰 영향을 미치기 때문에 매우 중요한 인자이다.

3.1 분무형상

주위 압력변화에 대한 분무형상의 변화를 파악하기 위하여 Fig. 3과 같이 분무장의 축방향 단면을 가시화 하였다. 이 경우 분사압력과 분사기 구동 입력 신호는 각각 5.0MPa, 2.0ms이고 가시화 영역은 가로×세로가 각각 98mm, 78mm이다.

주위압력이 0.1MPa인 경우, 색 불륨과 비 선회체적내의 연료가 분사되면서 발생하는 분무선단이 형성된다. 이러한 분무선단은 콘형(cone type)의 분무주류와 명확히 구분할 수 있으며, 분무가 진행되면서 비교적 큰 액적으로 성장할 뿐만 아니라 중심부가 비어있고, 외곽에 많은 수의 액적들이 존재하는 원추형(hollow cone)으로 발달되는 것을 관찰

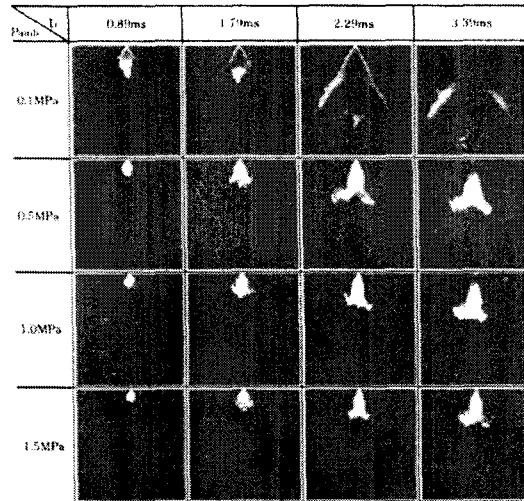


Fig. 3 Spray visualization of axial-section view for various ambient pressures ($P_{inj}=5.0\text{MPa}$, $t_i=2.0\text{ms}$)

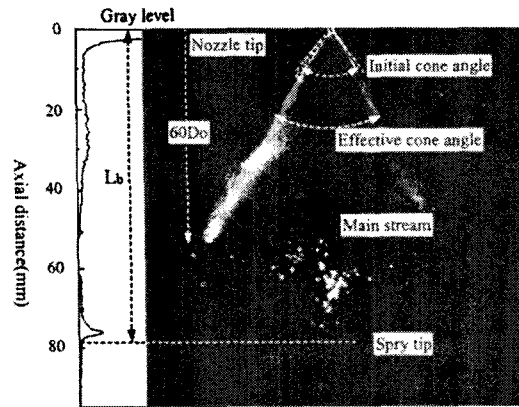


Fig. 4 Definitions of spray tip penetration and cone angle

할 수 있다.

반면 주위 압력이 증가할수록 분무형상은 가운데가 빈 중공 원추형태에서 점차 분무장 중심부에 많은 액적들이 존재하는 솔리드콘(solid cone)형태로 진행되며, 분무선단과 분무주류의 구분이 어려울 뿐만 아니라 단위 시간당 분무의 성장도 감소된다.

이는 주위 압력이 증가하면 주위기체의 밀도가 증가되어 비교적 운동량이 작은 색 불륨과 비 선회체적 내의 연료의 상대속도가 감소되어 분무주류와 같이 분사되기 때문에, 대기압에서와 같이 분무선

단과 주류의 구분이 어렵게된다. 또한 주위압력이 증가하게되면 액적들의 항력이 증가하기 때문에 분무성장속도가 둔화되는 것으로 판단된다.

또한 주위압력이 증가될수록 분무형상은 더욱 둥근 형태로 성장한다. 이는 주위압력이 증가할수록 항력이 증가되어, 분열은 보다 빨리 일어나며, 이렇게 분열된 액적들은 증가된 항력에 의해 축방향 운동량이 급격히 감소하게된다. 이러한 액적들은 주위압력이 증가될수록 강화되는 역방향 와류에 의해 영향을 받게되어 결국 역방향 와류와 같은 방향으로 운동하기 때문이다.

한편 대기압 조건의 경우에는 고압선회 분사기의 일반적인 분열과정을 관찰할 수 있다. 즉, 연료는 분사기 내부의 선회기에 의하여 좌우대칭의 증공 원추형 형태로 분사된다. 이와 같이 분사되는 연료는 노즐 출구에서 액막을 형성하게되고, 분무가 하류로 진행 할 수록 액막의 두께가 얇아지고 불안정해져서 결국 액적으로 분열된다.

3.2 분무도달거리 및 분무각

분무도달거리 및 분무각은 실제 엔진 적용에서 분사기의 설치 위치 및 연소현상에 중요한 영향을 미치는 분무특성 중에 하나이다. Fig. 4는 분무도달거리 및 분무각에 대한 정의를 나타내고 있다.

일반적으로 분무도달거리는 분무선단이 이동한 거리로 정의하지만 분무각의 경우는 측정자의 필요에 따라 초기 분무각(initial cone angle)과 유효분무각(effective cone angle)으로 그 정의가 달라진다.⁽⁵⁾

초기 분무각은 노즐출구와 분무외곽 접선사이의 각도로서, 이는 노즐의 구조와 분사압력에만 영향을 받고 주변조건에 관계없이 일정한 값을 갖기 때문에 노즐 개발단계에서 주로 파악하는 변수이다. 반면 유효분무각은 초기 분무각을 가지고 분사된 분무장이 주변 공기나 유동과의 상호작용을 하면서 변화된 값을 나타내기 때문에 주변압력 등의 조건이 변화되면 그 값도 변화된다.

따라서 유효분무각은 측정지점을 어떻게 결정하느냐에 따라 달라지게 되는데, 이는 연소실 크기를

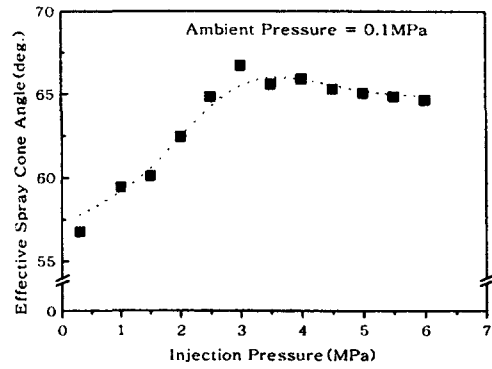


Fig. 5 Spray cone angle variations for injection pressures ($P_{amb}=0.1\text{MPa}$, $t_i=2.0\text{ms}$)

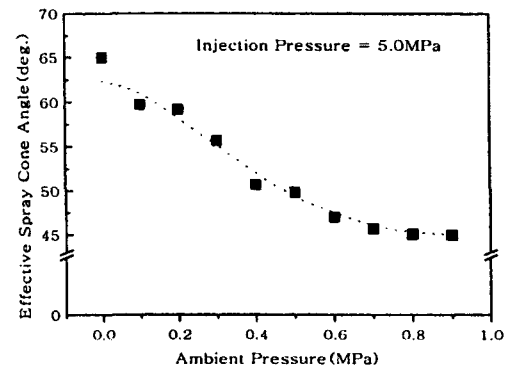


Fig. 6 Spray cone angle variations for injection pressures ($P_{inj}=5.0\text{MPa}$, $t_i=2.0\text{ms}$)

기준으로 설정하게된다. 일반적으로 디젤분무의 경우 $60 d_o$ 에서 분무각을 측정한다. 본 연구에서는 이 기준에 의하여 분무각도를 계측하였다.

Fig. 5는 주위압력과 입력신호가 각각 0.1MPa, 2.0ms일 때, 분사압력에 대한 분무각도 변화를 나타낸 것이다. 이때 분무각도의 측정시점은 분사압력에 대한 분무도달거리를 고려하여 분사개시 후 1.2~1.5ms이다. 분무각도는 분사압력이 높아짐에 따라 증가하다가 분사압력이 약 3.5MPa 이후부터는 약 65° 내외로 일정하게 유지되는 것을 알 수 있다.

이는 분사압력이 3.5MPa보다 낮은 영역에서는 분사압력이 증가할수록 선회효과가 증가하여 분무

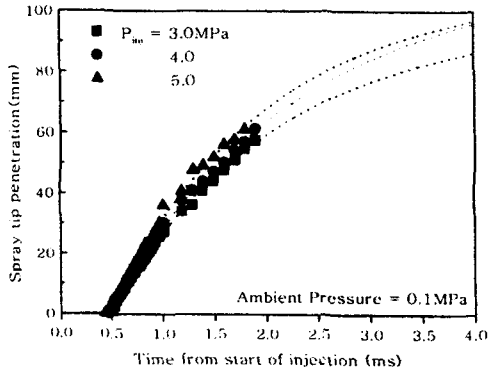


Fig. 7 Spray tip penetration variations for injection pressures ($P_{amb}=0.1MPa$, $t_i=2.0ms$)

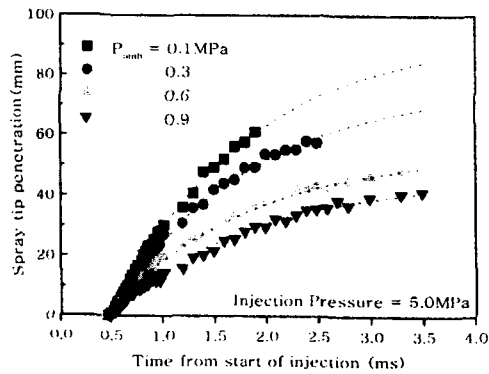


Fig. 8 Spray tip penetration variations for injection pressures ($P_{inj}=5.0MPa$, $t_i=2.0ms$)

각도는 증가하지만, 분사압력이 3.0~3.5MPa이상이 되면, 분무장 표면에 발생하는 역 방향 와류에 의하여 분무장 내부에서 압력강하가 발생되어 주위공기가 유입됨으로 인하여 분무 하류가 수축되는 현상이 발생되기 때문이라고 판단된다.

Fig. 6은 분사압력과 입력신호가 각각 5.0MPa, 2.0ms일 때, 주위압력에 대한 분무각도 변화를 나타낸 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 주위압력변화는 분사압력의 변화보다 분무각도에 큰 영향을 미치며, 또한 분사각도는 주위압력이 증가할수록 감소하다가 약 45°정도의 일정한 값으로 수렴하는 것을 관찰할 수 있다. 이러한 현상은 주위압력이 증가할수록 항력이 증가되기 때문이라고 판단된다.

이러한 현상들은 Ortman과 Lefebvre 등⁽⁶⁾에 의하여 파악된 심플렉스 와류분사기(simplex swirl atomizer)에 대한 연구결과와 Salters 등⁽⁷⁾과 Fansler 등⁽⁸⁾ 의한 기존의 GDI분사기에 대한 결과와도 같은 경향을 갖는다.

Fig. 7은 주위압력과 입력신호가 각각 0.1MPa, 2.0ms일 때, 분사압력에 대한 분무도달거리의 시간 변화를 나타낸 것이다.

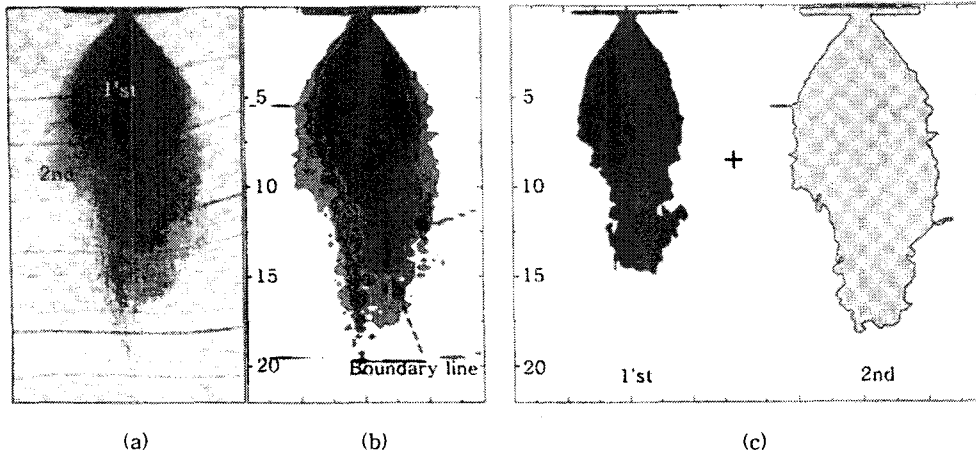
그림에서와 같이 분무도달거리는 분무초기에는 분사압력에 대한 영향은 작지만, 시간이 경과됨에 따라 분사압력이 높을수록 증가하는 것을 알 수 있다.

일반적으로 분무도달거리는 분사되는 연료의 운동에너지와 주위기체와의 공기역학적 저항의 상대적인 크기에 의하여 결정된다. 따라서 분무초기에는 섹플룸내의 연료가 분무되고, 특히 니들이 완전히 열린 상태가 아니기 때문에 공급되는 연료압력이 완전히 전달되지 못하기 분사압력 변화에 대한 영향이 작게된다. 하지만 니들이 완전히 열린 정상상태 분무시기에서는 분사압력이 높을수록 분무도달거리는 증가하게된다.

또한 이러한 현상은 분무각도와 관련되어 설명되어질 수 있다. 즉, 대체로 분무각도가 큰 경우에는 주위 기체와의 마찰저항으로 인하여 운동에너지 소산이 빨리 일어난다. 따라서 Fig. 5에서 파악된 것과 같이 분사압력이 작을수록 큰 분무각도를 가지게 됨으로 분무도달거리는 상대적으로 작아지게 된다.

한편 모든 분사압력에 대하여 시간이 경과됨에 따라 분무도달거리가 감소하는 것을 관찰할 수 있다. 이는 노즐로부터 분사되는 액체의 속도는 매우 빠르지만 미립화가 진행되어 하류로 내려오면서 입자의 전체 표면적이 증가하게 됨으로서 주위 기체와 액적군 사이의 마찰항력에 의해서 운동에너지의 소산이 발생되기 때문이다.

일반적으로 GDSI와 같은 직접분사방식의 경우, 주위압력 변화에 대한 분무도달거리가 매우 중요하다. 이는 분무도달거리가 엔진 실린더 크기와 적절하게 조화되어야 하기 때문이다. 즉, 주위 압력변화에 대하여 분무도달거리가 너무 크게 되면 연료가



(a) Original image, (b) Image processing result, (c) Separation of 1'st and 2nd image
 Fig. 9 Arrangement of image processing method calculating spray tip velocity

실린더 내 맞은편 벽면을 적시게(wetting)되어 연소가 불안정하게되며, 반면 분무도달거리가 너무 작은 경우에는 연료와 실린더 내의 연소용 공기의 혼합이 충분히 이루어지지 않아 역시 연소가 잘 이루어지지 않기 때문이다.

이러한 이유로 Fig. 8과 같이 주위압력변화에 대한 분무도달거리를 파악하였다. 이 경우 분사압력과 분사기 구동 입력신호는 각각 5.0MPa, 2.0ms이다.

분무도달거리는 주위압력이 증가할수록 앞서 설명한 것과 같이 주위 공기의 저항이 커짐으로서 분무도달거리가 현저하게 감소하게되며 이러한 현상은 분무후반부에서 더욱 뚜렷하게 나타난다.

특히 분위기 압력이 0.6MPa 이상이 되면 분무도달거리는 50mm이하로서 Pontoppidan⁽⁹⁾의 연구결과와 잘 일치한다.

이러한 결과로부터 분무도달거리는 분사압력 보다 주위 압력변화에 대한 영향이 지배적이며, GDSI는 GDI 엔진의 늦은분사 운전조건에 적절한 분무도달거리를 갖는다고 할 수 있다.

3.3 분무선단 속도

분무선단속도는 분무도달거리 및 분무각도와 함께 연료의 벽면 충돌 및 유착현상에 지배적인 영향을 미친다. 이러한 이유로 분무선단 속도를 다음과

같은 방법으로 측정하였다.

Fig. 9는 본 연구과정에서 새롭게 도입된 영상처리 알고리즘에 의한 분무선단 속도를 측정하는 방법을 나타낸 것이다. 분무선단 속도는 먼저 하나의 분무형상 이미지에 광원을 순차적으로 두 번 작동시켜 그림(a)와 같은 영상을 획득한다.

획득된 이미지에 대하여 일련의 영상처리 과정(image processing)을 적용하면 각 픽셀(pixel)의 위치와 이미지 정보(gray level)를 각각 얻을 수 있다. 그림 (b)는 이러한 영상처리과정의 결과이며, 그림에 나타난 각 경계선들은 동일한 크기의 이미지 정보를 연결한 것이다.

한편 그림에 표시된 경계선(boundary line)은 각 광원에 의하여 형성되는 것으로서, 이는 동일한 크기를 갖는 각 이미지 경계선들로부터 원 이미지(original image)에서 두 광원에 의하여 형성되는 이미지 정보를 역으로 대입하면 두 광원에 의하여 형성되는 경계선을 구분할 수 있다.

그림(c)는 이러한 영상처리 과정과 경계구분 방법에 의하여 원 이미지(original image)로부터 첫 번째와 두 번째 영상으로 각각 분리한 것이다.

이렇게 분리된 이미지에 대하여 수정된 형상인식 알고리즘(pattern recognition algorithm)⁽¹⁰⁾과 상관관계(auto correlation)⁽¹¹⁾를 적용시켜 각 이미지의 경계에 대한 위치 정보를 얻는다. 이들 위치정보에 영상 확대비를 대입하면 실제 이동거리가 계산되

고, 실제 이동거리와 광원작동시간 간격으로부터 분무속도가 계산된다.

Fig. 10은 주위압력변화에 대한 분무선단의 축방향 속도를 나타낸 것이며, 그림에서 점선은 각 데이터를 평균한 결과이다.

분무선단 속도는 앞서 설명한 것과 같이 분사 시작 후, 시간이 경과됨에 따라 급격히 증가하였다가 다시 감소되는 것을 알 수 있다. 이러한 속도 변화율은 주위압력이 높아질수록 공기의 항력이 크게 작용하여 점점 작아지게 된다.

이러한 현상은 주위압력이 0.6MPa 인 경우에서 더욱 뚜렷하게 나타나, 분무말기 영역에서의 분무선단속도는 시간이 경과됨에 따라 약 20m/s로 일정하게되는 것을 관찰할 수 있다. 이는 분사기로부터 공급되는 운동량이 일정한 상태이기 때문에, 미립화가 진행되어 하류로 진행하면서 주위 기체와 액적군 사이의 마찰항력에 의해서 운동에너지의 소산이 발생되기 때문이다.

이러한 결과는 한편 Everse 등⁽¹²⁾에 의하여 파악된 고압 선회분사기의 선단속도와 비슷한 범위이지만, Kume 등⁽¹³⁾에 의한 고압 선회분사기와 비교해보면 분무초기의 속도는 약 20% 정도 GDSI가 빠르게 나타나고, 분무후기에서는 거의 비슷한 값을 갖는다.

Everse의 경우는 분사기의 선회포트 유입각이

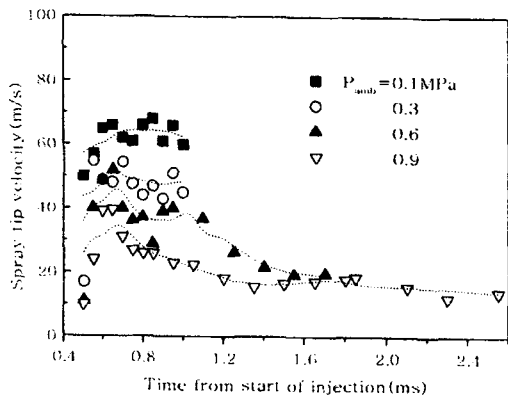


Fig. 10 Spray tip velocity distributions for variable ambient pressures ($P_{amb}=0.1MPa$ $t_i=2.0ms$)

비슷하지만, Kume 등에 의한 경우는 선회분사기의 선회포트 유입각도가 180 °이다. 따라서 GDSI의 유입각도는 이보다 훨씬 작게 설계되어 초기 분무선단속도는 크게 되지만 분무후기에서는 공기의 마찰항력에 의하여 축방향 운동량이 감소되기 때문이다.

한편 주위압력이 대기압인 경우, 시간 변화에 대

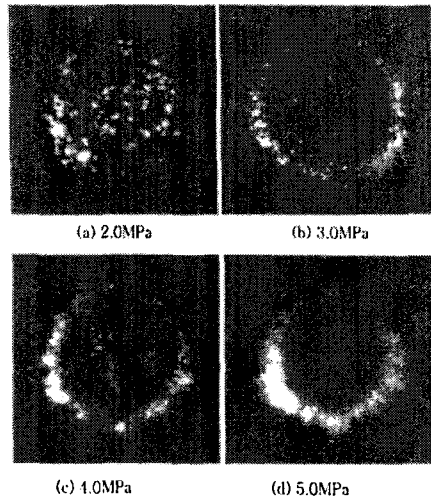


Fig. 11 Cross-section visualization for various injection pressure($P_{amb}=0.1MPa$, $t_i=2.0ms$, $t_{aoi}=2.09ms$, $z=30mm$)

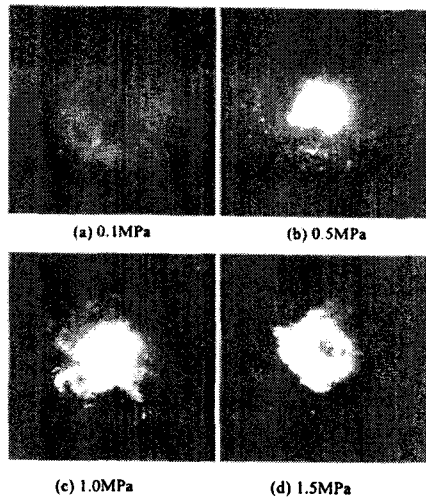
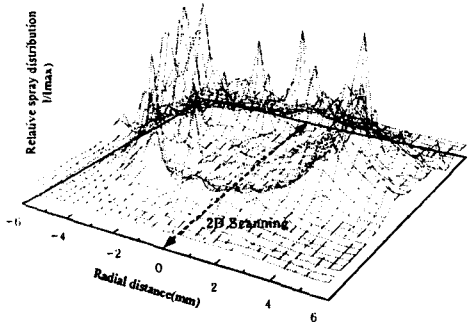
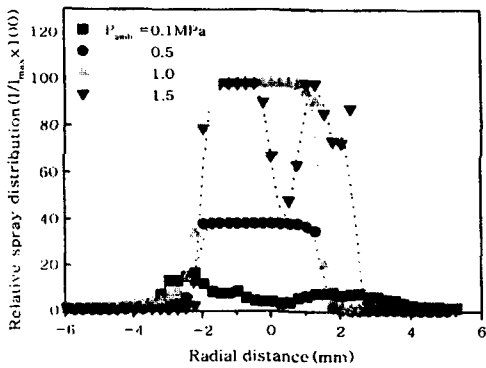


Fig. 12 Cross-section visualization for various ambient pressure($P_{inj}=5.0MPa$, $t_i=2.0ms$, $t_{aoi}=3.39ms$, $z=30mm$)

한 분무초기 선단속도를 살펴보면 약 60~70m/s의



(a) Spatial spray distribution



(b) 2-D spray distribution

Fig. 13 Spray distribution with respect to different ambient pressure

분포를 갖는다. 이는 유량 계측결과⁽²⁾과 오리피스 직경과의 관계로 구한 결과와 비교하면 ±3%오차를 갖기 때문에, 제시된 속도 계측방법은 우수한 신뢰성을 갖는 것으로 판단된다.

3.4 공간분포

실린더 내로 분무된 연료 입자의 공간분포는 혼합 및 증발과정에 중요한 영향을 미치게 된다. 특히 GDI 경우, 엔진 부하조건에 따라 적절한 분무형상과 이에 따른 입자의 공간분포가 요구된다. 이러한 이유로 분무 단면 영상으로부터 분무입자의 공간분포를 파악하였다.

Fig. 11은 주위압력과 구동 입력신호가 각각 0.1MPa, 2.0ms일 때, 분사압력변화에 대한 분무의 횡단면 변화를 촬영한 것으로서 실측은 47×47mm이다. 이 경우 측정위치는 하류 30mm이며, 시간은 분사시작 후 2.09ms로서 분무가 완전히 발달된 정상상태이다.

분무의 단면구조는 환상형태(ring shape)로서 분무장의 가운데는 비어있고 가장자리 부분에 액적군이 분포하고 있는 것을 관찰할 수 있다. 이러한 액적군은 분사압력이 증가할수록 미세한 액적들이 많이 발생되는 것 알 수 있다.

한편 분무장의 가운데 부분을 관찰해보면, 분사압력이 3.0MPa이하에서는 비교적 큰 액적들이 존재하지만 분사압력이 증가하면 작은 액적들이 모여 있는 것을 관찰할 수 있다.

이러한 현상은 분사압력이 낮은 경우, 분무장 중심부에 나타나는 큰 액적들은 색볼륨과 비선형 체적의 연료에 의한 것이며, 분사압력이 증가되면서 역방향 와류에 의하여 작은 액적들이 중심부로 유입되어 발생된다.

또한 분사압력에 대한 분무폭(spray width)의 변화를 살펴보면, 분사압력이 높아질수록 증가하다가 다시 감소되는 것을 알 수 있다, 이러한 현상은 Fig. 5의 분사압력변화가 분무각도에 미치는 영향의 결과와 정확히 일치하고 있음을 알 수 있다.

한편 Fig. 12는 주위압력 변화에 대한 분무의 공간 분포를 나타내는 것으로서, 분사압력 및 구동 입력신호는 각각 5.0MPa, 2.0ms이며, 측정위치와 시간은 각각 30mm, 3.39ms이다.

주위압력이 증가할수록 분무폭이 감소되는 것을 관찰할 수 있다. 이러한 현상은 Fig. 6의 결과와 정확히 일치하고 있음을 알 수 있다.

한편 주위압력이 대기압인 (a)의 경우는 계측 시점이 분사종료 시점이므로 액적들이 분무장 전체에 균일하게 분포하고 있다. 반면 (b)와 (c)의 경우에는 분무의 중심부와 가장자리는 구분되지만 오히려 분무중심부에 많은 액적들이 존재하고 가장자리에는 역방향 와류에 의한 현상들이 관찰된다. 특히 (d)의 경우는 분무장 단면 전체에 많은 액적들이 분포하는 것을 알 수 있다.

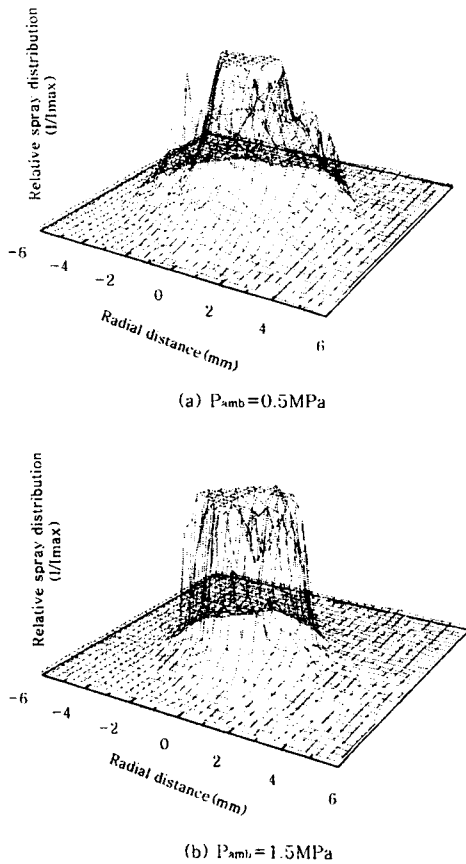


Fig. 14 3-Dimensional spray distribution for various ambient pressures ($P_{inj}=5.0MPa$, $t_i=2.0ms$)

이러한 단면 영상으로부터 입자의 농도분포를 비교하기 위하여 영상처리과정을 통하여 Fig. 13과 같이 분무단면의 공간분포도를 상대 휘도 값으로 표시하였다.

분무단면의 공간분포도를 나타내는 상대 휘도 값은 먼저 각 분위기 압력변화에 대하여 그림(a)와 같이 3차원 공간분포도를 구한 후, (a)에 표시된 2차원 스캔(2D scanning)방향의 상대분포를 (b)와 같이 표현하였다. 한편 Fig. 13의 (a)는 Fig. 11의 (d)의 3차원 상대분포를 나타낸 것이다.

Fig. 13의 (b)를 보면 대기압 조건의 경우에는 앞에서와 같이 분무장의 가장자리에 액적들이 많이 분포하고, 분위기 압력이 증가할수록 분무장 중심의 분포도가 급격히 증가하여 0.5MPa이상에서는 거의 대부분 중심부에 분포하는 것을 알 수 있다.

한편 분무폭은 Fig. 12와 같이 분위기 압력이 증가할수록 감소되어야한다. 하지만 2차원 공간 분포 결과에 의하면 주위압력이 1.5MPa인 경우가 오히려 분무폭이 넓은 것으로 표시되고 있음을 알 수 있다.

이는 2차원 분무 분포도 계측의 단점으로서 계측 방향에 의하여 그 결과가 다르게 나타날 수 있음을 의미한다. 따라서 분무입자의 공간분포를 정확히 계측하기 위해서는 Fig. 13의 (a)와 같은 3차원 영상처리 방법이 효과적이라고 할 수 있다.

Fig. 14의 (a)와 (b)는 각각 Fig. 12의 (b)와 (d)를 3차원 영상처리 방법에 의하여 계측된 분무입자의 공간 농도분포를 나타낸 것이다.

그림에 나타난 것과 같이 주위 압력이 증가할수록 분무폭은 감소되고, 분무장 중심부의 상대 분포도가 높아지는 컴팩트한 공간분포가 형성되며, 특히 (a)의 경우는 역방향 와류에 의하여 가장자리 부분에 비교적 높은 상대분포도가 나타나는 것을 알 수 있다.

이러한 결과로부터 분무입자의 공간분포를 정확히 계측하기 위해서는 종래의 2차원 분포 계측방법보다 이러한 3차원 영상처리 방법이 효과적이라고 할 수 있다.

따라서 GDSI는 반경방향의 단면 영상에 대한 공간분포의 결과로부터 분무형상과 그에 대한 공간분포는 GDI엔진의 요구조건을 충분히 만족시킬 수 있다.

4. 결 론

GDI 엔진용으로 개발된 직접분사식 가솔린 선회 분사기(GDSI)의 분무특성을 파악한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 간헐 선회 분사기의 특징인 역방향 와류가 분무표면에서 발생되며 분위기 압력이 증가할수록 발생시기가 빨라져 분무각 및 분무도달거리에 영향을 미친다.
- 2) 유효분사각도는 주위압력이 대기압인 경우, 분무각도는 65°로서 이는 노즐부의 설계기준 값과 잘 일치하였으며, 분사압력이 증가할수록 점차 증

가하지만 역 방향 와류가 발생되면서 일정한 값을 갖는다. 한편 주위압력이 증가할수록 감소되지만 0.6MPa 이상의 주위압력에서는 45°로서 일정한 값을 갖는다.

3) 분무도달거리는 분사압력이 증가할수록 증가되고, 주위 압력이 증가할수록 감소되지만, 주위압력 변화에 대한 영향이 지배적이다. 특히 주위압력이 0.6MPa인 경우에는 50mm 이상 도달하지 않는다.

4) 분무 선단속도는 주위 압력이 증가할수록 감소되며, 주위압력이 0.6MPa 이상에선 20m/s를 초과하지 않는다.

5) 입자농도에 대한 공간분포는 주위압력이 증가할수록 중앙부에서 큰 값을 갖기 때문에 GDI엔진에서 요구되는 분무장과 그에 따른 농도분포를 형성한다

참 고 문 헌

1. N. A. Chigier, "Progress in Energy and Combustion Science", PERGAMON, Vol.25 No.5, pp. 441-444, 1995.
2. 박용국, 이충원, "직접분사식 가솔린 선회 분사기 개발에 관한 연구", 대한 기계학회지 제25권 제1호, pp.78-86, 2001.
3. 박용국, 이충원, "직접분사식 가솔린 선회 분사기 개발에 관한 연구 II", 한국자동차공학회 논문집 제 9권 제 6호, pp.76-84, 2001.
4. 박용국, "직접분사식 가솔린 선회분사기의 설계 인자 및 분무특성에 관한 연구", 경북대학교 박사학위논문, 2001.
5. H. Lefebvre, Atomization and Spray, Hemisphere publishing Co., pp. 277, 1998.
6. J. Ortman and H. Lefebvre, "Fuel Distributions from Pressure-Swirl Atomizers", AIAA J. Propul. Power, Vol. 1, No. 1, pp. 11-15, 1985.
7. D. Salters, P. Williams and D. Brehob, "Fuel Spray Characterization within an Optically Accessed Gasoline Direct Injection Engine Using a CCD Imaging System", SAE Technical Paper, No. 961149, 1996.
8. T. D. Fansler, D. T. French and M. C. Drake, "Fuel Distribution in a Firing Direct-Injection Spark-Ignition Engine Using Laser-Induced Fluorescence Imaging", SAE Technical Paper, No. 950110, 1995.
9. M. Pontoppidan, G. Gaviani and M. Marelli, "Direct Fuel Injection a Study of Injector Requirements for Different Mixture Preparation Concepts", SAE Technical Paper 970628, 1997.
10. J. Y. Kim, J. H. Chu and S. Y. Lee, "Improvement of Pattern Recognition Algorithm for Drop Size Measurement", Atomization and Sprays, Vol. 9, pp. 313-329, 1999.
11. J. Westerweel, "Digital Particle Image Velocimetry", Ph.D Thesis Delft University of Technology, 1993.
12. (21) L. W. Everse, "Characterization of Transient Spray from High pressure Swirl Injector", SAE Technical Paper, No. 940188, 1994.
13. T. Kume, Y. Iwamoto, K. Iida, M. Muramaki, K. Asishino and H. Ando, "Combustion Control Technologies for Direct Injection SI Engine", SAE Technical Paper, No. 960600, 1996.