

# 흡입유동 중 충돌벽면 근처에서 가솔린 분무특성

김원태\* · 강신재\*\* · 노병준\*\*  
(1999년 10월 4일 접수)

## Characteristics of the Gasoline Spray near Impinging Wall in Suction Flow

Won-Tae Kim, Shin-Jae Kang and Byung-Joon Rho

**Key Words :** SI Engine(불꽃점화엔진), Wall Impinging(벽면 충돌), Air-assist(공기보조), Pre-Impinging Droplet(충돌이전 액적), Post-impinging Droplet(충돌이후 액적), PDPA(위상도플러 입자분석기), SMD(Sauter 평균직경)

### Abstract

In port fuel injection system of SI engines, injected fuel is impinged onto the surface of intake valves and port-wall, and then formed the wall flow under the cold start operation. Wall flows entrained into the cylinder result in the unsteady and nonuniform mixture formation. Therefore, the spray impingement to the wall is considered as having negative influences such as lowering combustion efficiency and causing unburned hydrocarbon emissions. This study investigates the spray characteristics of the wall impinging air-assist spray in suction air flow. A PDPA was used to analyze the flow characteristics under the different conditions such as impingement angle and supplied air. Experimental data concerning the impinging sprays has been obtained in the vicinity of the wall. Measured droplets divided into the pre-impinging droplets which denote as the positive normal velocities and post-impinging droplets that describe as the negative normal velocities for the suction flow. Their velocities, size distributions and SMD are comparatively analyzed before and after the impingement.

### 기호설명

- d : 분사기 오리피스 직경(5mm)
- D : 액적 직경
- F(D) : 액적크기의 수확률밀도분포
- F( $v_z$ ) : 수직속도의 수확률밀도분포
- $P_a$  : 공기 보조 압력
- $V_x$  : 흡입공기 유동방향속도
- $V_z$  : 흡입공기의 수직방향속도
- $V_s$  : 흡입공기의 유속(30m/s)
- X, Y, Z: 좌표축
- $\theta$  : 연료분무의 분사각

### 하첨자

(pre) : 충돌 이전

(post) : 충돌 이후

### 1. 서론

흡입 공기의 흐름 중에 연료가 분사되는 포트 분사식 가솔린 엔진의 경우, 저온 시동시 포트 내로 분사되는 연료분무는 흡기포트 벽면과 흡기 밸브 면에 충돌하게 된다. 벽면에 충돌하는 일부 연료 액적들은 벽면과의 충돌에 의해 보다 작은 액적들로 미립화가 이루어지면서 벽면으로부터 튀어 오르고, 나머지 연료 액적들은 저온인 포트 벽에서 쉽게 기화되지 못하여 벽류를 형성한다.

\* 회원, 전북대학교 대학원

\*\* 회원, 전북대학교 기계공학부, 자동차신기술연구소

E-mail : rhobj@moak.chonbuk.ac.kr

TEL : (063)270-2370 FAX : (063)277-7308

포트와 밸브에 부착되는 연료 액적들에 의해 형성되는 벽류는 흡입과정 중에 밸브와 밸브 시트 사이의 좁은 통로를 통하여 실린더 내로 흡입되는 빠른 공기 유동에 의해 일부가 작은 액적들로 미립화 되어지지만 대부분의 벽류는 실린더 내로 흘러들어 불균일한 혼합기를 형성한다.<sup>(1)</sup> 실린더 내의 불균일한 혼합기는 불완전 연소되어 연소효율을 저하시키고, 배기 오염물질인 미연탄화수소 발생의 원인이 된다.<sup>(2)</sup> 이러한 요인들을 해결하기 위한 방안으로 연료분사기의 미립화 향상과 흡기밸브가 열린 상태 즉, 흡입공기의 유동이 발생하는 상태에서 연료 분사를 고려하였다. 이에 따라, 미립화 향상으로 작게 형성된 연료 액적들이 포트 벽에 부착되지 않고, 흡기밸브가 열리면서 생성되는 흡입유동에 의해 실린더 내로 유입되어 균질한 혼합기를 형성하도록 하여 벽부착 연료량을 감소함으로써 불완전 연소에 의한 미연탄화수소의 배출을 저감시켰다.<sup>(3)</sup> 그러므로, 흡기 포트 내에서의 벽류 가시화<sup>(4)</sup>와 더불어 연료 분무 거동 특성을 파악하려는 연구가 수행되어지고 있다.<sup>(5~9)</sup> 그러나, 이들 연구들은 분무 유동가시화와 제한적인 분무특성 파악에 국한되고 있는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 연료분사기의 미립화향상시키기 위하여 연료분사기의 출구부에 공기를 보조할 수 있는 어댑터를 결합시켜 이를 모델 포트에 설치하고 흡입유동을 모사하기 위하여 흡입유속에 변화를 주었으며, 분사기의 설치 각을 변경함으로써 분무의 분사각 변화를 고려하였다. 이와 같은 분무 조건에서 분무의 충돌 벽면에 근접한 위치에서 액적의 유동방향의 속도와 크기를 동시에 측정할 수 있는 광학계측장치인 PDPA (Phase Doppler Particle Analyzer) 시스템을 이용하여 양의 수직방향 속도를 갖는 벽면 충돌 전의 액적들과 음의 수직방향 속도를 갖는 벽면 충돌 후에 충돌벽면으로부터 튀어 오르는 연료 액적들로 분류하여 이들의 분무유동특성, 액적크기 분포 및 SMD 분포를 충돌 전과 후에 따라서 비교 분석하였다.

## 2. 실험장치 및 측정방법

### 2.1 실험장치

Fig. 1은 본 연구를 위하여 구성된 실험장치의

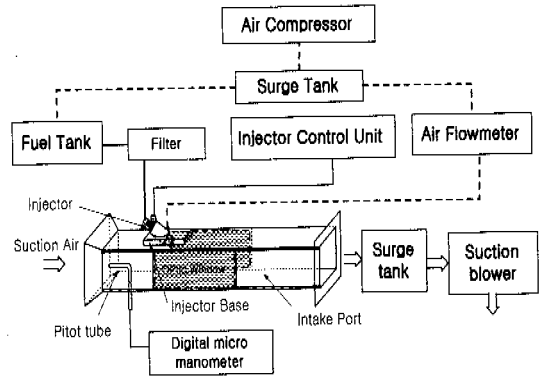


Fig. 1 Schematic diagram of experimental set-up

개략도를 보이고 있다. 실험에 사용된 연료분사기는 공기보조형 분사기로서 가솔린 엔진의 전자제어 연료 분사장치의 일종인 MPI(Multi-point injection) 시스템에 범용적으로 사용되고 있는 핀틀형 연료분사기를 이용하여 연료분무에 보조 공기를 가할 수 있게 어댑터를 설치하고 이들을 분사기 하우징으로 결합하였다. 분사기에 일정한 압력의 연료를 공급하기 위하여 공기 압축기를 이용하였으며, 공기 압축기에 의해 얻어진 가압 공기가 연료탱크의 연료를 가압하여 일정 압력의 연료가 분사기에 공급되도록 하였다. 또한, 가압 공기 중 일부는 분사기 하우징의 공기 유입구를 통하여 보조 공기로 사용하였다. 공급되는 연료와 보조 공기 압력은 압력센서를 사용하여 디지털 압력변환기로 관측하였다. 연료분사기의 연료 분사시기와 기간은 연료분사조절장치를 컴퓨터와 인터페이스하여 컴퓨터에 의해 조절할 수 있도록 하였다.

흡기밸브가 열린 상태를 모사하기 위하여 압송형 송풍기를 역으로 이용하여 흡입공기 유동을 발생시켰다. 흡입공기 유속을 측정하기 위하여 모델 흡기포트 내에 4공 Pitot 관을 삽입하고, 이를 디지털 마이크로 마노메타를 사용하여 관측하였다. 흡기포트를 모사하기 위하여 사용한 모델 흡기포트는 폭 70mm, 높이 50mm, 길이 460mm의 직사각형의 아크릴로 제작하였다. 연료분사기로부터 분사되는 연료의 분무 거동을 측정하기 위하여 50mm×170mm의 관측창을 모델 흡기포트의 양측에 설치하였다. 분무의 액적크기와 속도를 동시에 계측하기 위한 PDPA 시스템은 공냉식 Ar-ion 레이저(DANTEC, 300mW)를 사용하였으며

송광부는 레이저 발진부로부터 광섬유로 전송 받은 레이저 빔을 40MHz 주파수 편이시켜 속도의 방향성 계측을 가능하도록 하는 브락셀을 설치하였다. 송광부와 수광부는 58°의 각으로 3차원 이송장치의 고정 벤치에 견고하게 설치하고 컴퓨터에 의해 정확하게 이동하였다.

2.2 측정방법

연료분사기의 출구 중심과 모델 포트의 교차점을 원점으로 하여 흡입공기의 수직방향향을 Z축, 흡입공기의 유동방향을 X축, 분무 유동의 반경방향향을 Y축으로 설정하였다. 연료는 분사압력을 300kPa로 고정된 채로 연료분사시간을 5ms로 설정하고, 분사주기는 100ms로 간헐적으로 분사하였다. 미립화 향상을 위한 보조 공기는 연속적으로 공급하는 경우( $P_a = 25kPa$ )와 공급하지 않은 조건( $P_a = 0kPa$ )에 대하여 연료분사기로부터 분사되는 연료 분무의 분사각을 30°와 45°로 변화를 주었다. 그리고, 포트 내의 흡입유속( $V_s$ )은 1500cc 소형 가솔린 엔진의 약 2800rpm 회전속도의 운전 조건에서 실린더의 보어에 의한 단면적과 평균피스톤 속도를 고려하여 30m/s로 설정하였다. 이런 연료분무 조건들로부터 분무가 아래 벽에 충돌 후 발생하는 분무거동을 파악하고자 Fig.2와 같이 아래 벽면으로부터 5mm 떨어진 단면의 분무 중심선에서 관측용 유리창으로부터 5mm 떨어진 위치까지 5mm 간격으로 흡입유동 거리  $X/d = 10 \sim 26$ 까지 측정하였고, 이 경우 분무가 도달하지 않는 영역은 측정에서 배제하였다.

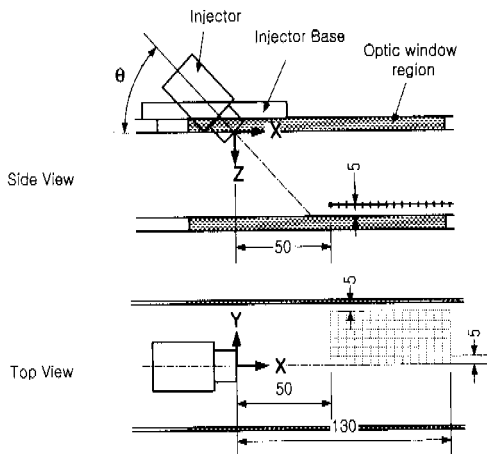


Fig. 2 Measuring points in model intake port

3. 결과 및 고찰

3.1 평균속도분포

흡입유속이 30m/s이고, 연료의 분사각이 45°인 분무조건인 경우  $X/d = 15.0$ 인 분무 중심영역에서 공기가 보조되지 않은 연료분무의 분사 개시 이후의 시간변화에 따라 얻어진 연료 액적들의 흡입공기유동의 수직방향 속도 변화와 확률밀도분포를 Fig.3에 보이고 있다. 흡입공기유동의 수직방향속도는 대략 -2m/s와 8m/s에서 각각 높은 빈도수를 보이고 있다. 또한, 분사 개시 이후 시간 변화에서 음의 수직방향속도를 갖는 연료 액적들보다 양의 수직방향속도 값을 갖는 액적들이 보다 앞서 나타나고 있음을 확인할 수 있다. 따라서, 아래 벽면으로부터 5mm 떨어진 측정영역( $Z/d = 9.0$ )에서 얻어진 음과 양의 수직속도는 Nagaoka 등<sup>(10)</sup>이 가솔린 연료분무의 벽면 충돌 수치해석 모델을 위하여 대기 중에 연료의 벽면 충돌 실험하여 얻은 PDPA 데이터 결과와 유사함을 알 수 있다. 그러므로, 분무가 충돌하는 벽면에 근접한 영역에서 음의 수직방향 속도를 갖는 액적들이 다수 관측되는 것으로 보아 벽면 충돌 후 충돌 벽면으로부터 튀어 오르는 액적들이 다수 존재한다는 사실을 확인할 수 있다.

보다 명확한 분석을 위하여 Fig.4에 분무의 충돌 벽면으로부터 5mm 떨어진 분무 중심선에서 30m/s로 강한 흡입공기 유동상태에서 얻어진 액적들의 수직속도의 확률밀도분포를 흡입공기 유동방향에 따라 나타내었다. 공기보조가 없는 (a)의 경우, 각각의 측정위치에서 양의 수직속도와

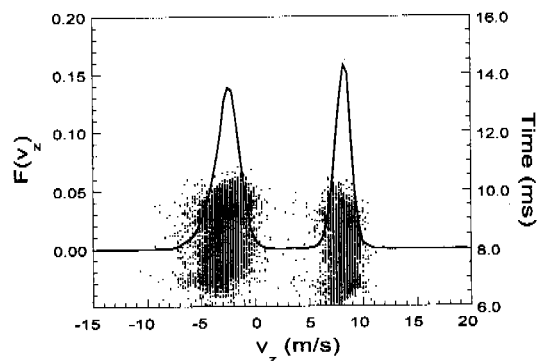


Fig. 3 Distribution of the normal velocity near a wall ( $X/d = 15.0, Z/d = 9.0, Y/d = 0.0, \theta = 45^\circ$ )

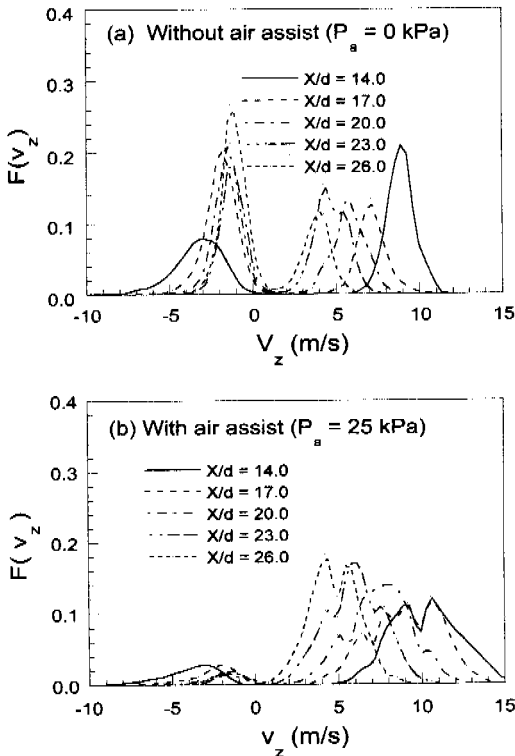


Fig. 4 Number probability density distribution of normal velocity along suction air streamwise distance for spray centerline ( $\theta = 45^\circ$ )

음의 수직속도의 2중 극치를 볼 수 있다. 또한, 흡입공기유동방향의 하류로 갈수록 음과 양의 수직속도에서 최대 빈도수를 보이는 양의 수직속도의 값은 점진적으로 감소하고 있으나, 음의 수직속도의 감소 폭은 상대적으로 작게 나타나고 있다. 또한, 음의 수직속도는  $X/d = 14.0$ 을 제외하고는 양의 수직속도 보다 빈도수가 크게 나타나고 있다. 이는 측정위치에서 얻어지는 액적들 중 벽면 충돌 이전의 액적들 보다 벽면 충돌 이후 튀어 오르는 액적들의 빈도수가 증가하였음을 의미한다. 보조공기가 25kPa로 공급되는 (b)의 경우, 양의 수직속도는 각각의 측정위치에서 보조공기의 공급이 없는 경우와 비교하여 최대 빈도수는 큰 차이를 보이며 보다 넓은 속도분포 폭을 보이고 있다. 이는 보조공기의 공급으로 인하여 분무의 미립화가 향상됨에 따라 작은 크기의 액적들이 형성되어 흡입공기의 유동을 잘 따르므로 상대적으로 벽면에 충돌하는 액적들의 빈도수가 적어 충돌 후 튀어 오르는 음의 수직속도를 갖는

액적들의 빈도수가 양의 수직속도를 갖는 액적들 보다 작게 나타나고 있으며, 보조공기의 공급으로 형성된 작은 크기의 액적들이 넓은 범위의 수직속도분포를 유지하며 유동함을 알 수 있다. 이들 결과들로부터 공기보조 유무에 관계없이 분무가 충돌하는 벽면 근처에서 벽면 충돌 후 튀어 오르는 액적들의 존재를 확인할 수 있다.

이와 같이 분무의 충돌 벽면 근처의 한 측정점에서 얻어지는 측정 데이터가 양과 음의 수직속도를 갖는 액적들로서 확연하게 구별되므로, 측정위치에서 양의 수직속도를 갖는 액적들을 “충돌 이전 액적(pre-impinging droplet)”이라 하고, 동일한 측정위치에서 충돌 벽면으로부터 튀어 오르는 음의 수직속도를 갖는 액적들을 “충돌 이후 액적(post-impinging droplet)”으로 나누어 이들의 유동특성 및 미립화특성을 비교 분석하였다.

충돌벽면근처의 측정위치에서 충돌 이전의 액적들과 충돌 이후의 액적들의 유동특성을 30m/s의 강한 흡입공기 유동조건에서 고찰하기 위하여 Fig. 5와 6에 충돌 전후 및 공기 보조 유무에 따라 분무 중심에 대하여 각각 평균수직속도 분포와 평균흡입유동속도 분포를 도시하였다. Fig. 5의 평균수직속도 분포의 경우, 분사각에 무관하게 충돌 전과 충돌 이후의 액적들이 갖는 평균수직속도는 흡입공기유동의 하류로 갈수록 점진적으로 감소하고 있다. 이는 흡입공기유동 하류로 가면서 강한 흡입공기 유동에 의해 액적들이 흡입공기유동방향으로 유동방향이 바뀌어지기 때문이다. 분사각이  $45^\circ$ 인 경우, 분사각  $30^\circ$  보다 분무가 벽면에 충돌하는 충돌각이 커서 충돌력이 크게 작용하기 때문에 충돌 전후의 액적들의 평균수직속도가 높게 유지되고 있으며, 공기가 25kPa로 공급되어질 때 분사각이 클수록 평균수직속도는 공기의 공급이 없는 경우보다 흡입공기유동방향에 따라서 다소 크게 나타나고 있다.

Fig. 6의 흡입유동방향 평균속도는 충돌 이전과 이후 모두 수직속도와는 달리 흡입유동방향의 하류로 갈수록 점진적으로 증가하고 있으며, 데이터를 얻을 수 있는 분무와 벽면과의 충돌 상류영역에서 분사각이 증가할수록 보다 낮은 평균속도를 나타내고 있다. 이는 30m/s의 흡입공기의 유속의 영향 때문으로 생각된다. 또한, 충돌 이전과 이후의 액적들이 갖는 흡입유동방향속도는 공기 보조 유무와 분사각에 관계없이 흡입 유동방향에

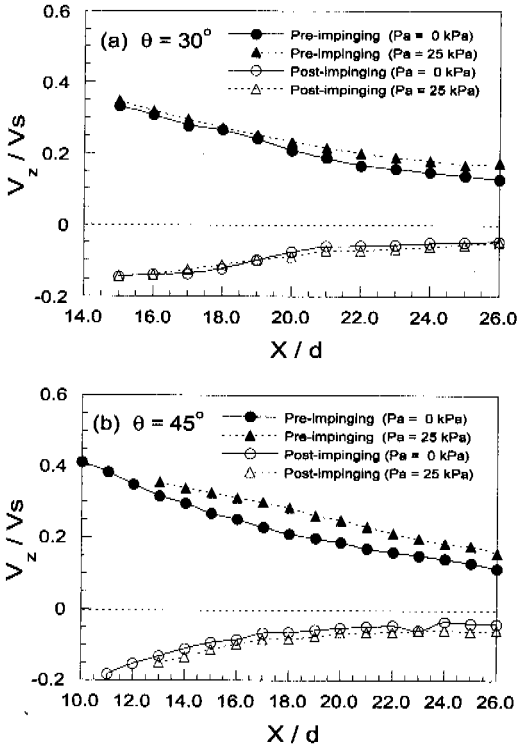


Fig. 5 Mean normal velocity distribution of pre- and post-impinging for spray centerline

따라 거의 일정한 차이를 보이고 있음을 알 수 있다.

분무의 벽면 충돌 이전의 평균속도에 대하여 충돌 이후 벽면으로부터 튀어 오르는 액적들의 평균속도에 대한 크기를 알아보기 위하여 Fig. 7에 각각의 분무 조건에서 흡입유동거리에 따라 나타내었다. (a)의 수직속도의 경우, 분사각  $30^\circ$ 에서 공기 보조가 없는 경우에 충돌 이후의 액적들은 충돌 이전의 액적들이 갖는 수직방향 속도의 최고 50% 정도의 크기를 나타내고 있으며, 공기 보조가 25kPa의 압력으로 공급되면서 공기 보조가 없는 경우보다는 다소 낮은 값을 보이고 있다. 그러나, 분사각이  $45^\circ$ 인 경우, 보조공기의 공급 유무에 관계없이 거의 일정한 차이를 나타내고 있으며, 충돌 초기의 흡입유동방향 거리에서는 공기보조가 없는 경우, 충돌 이후의 수직방향 속도는 충돌 이전의 수직방향속도의 50%로 높은 값을 유지하나, 흡입유동방향 거리가 증가하면서 점진적으로 감소하여  $X/d = 17.0$  이후부터는 충돌 이전의 수직방향속도의 30%의 속도분포를 유지

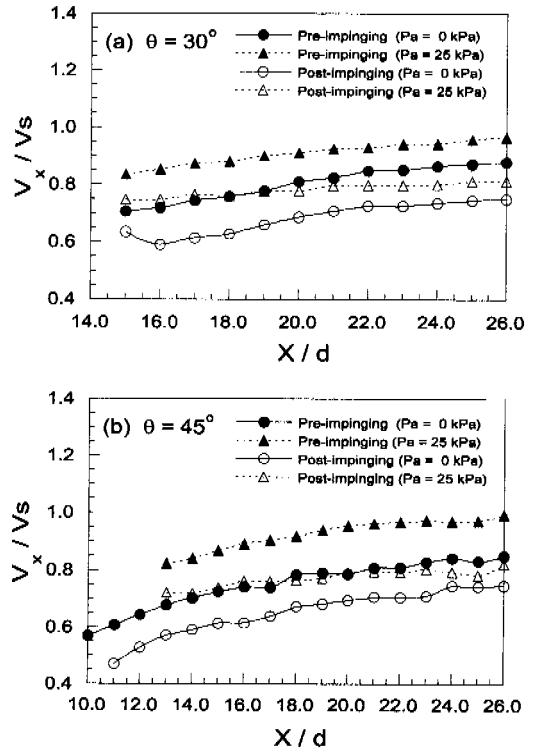


Fig. 6 Mean suction streamwise velocity distribution of pre- and post-impinging for spray centerline

하고 있다. (b)의 흡입유동방향속도는 분사각 및 공기 보조 유무에 관계없이 흡입유동방향 거리에 따라서 80~90%의 거의 균일한 분포를 보이고 있다. 따라서, 벽면 근처에서 충돌 이전과 이후의 수직방향속도와 흡입유동방향속도는 모두 30m/s의 강한 흡입유동의 영향을 받는다는 사실을 알 수 있다. 그리고, 벽면 충돌각이 큰 경우, 흡입공기분류의 하류영역에서는 충돌 이전의 평균수직속도와 충돌 이후의 평균수직속도의 차이가 거의 일정하게 유지됨을 알 수 있다. 그러나, 흡입유동방향 평균속도는 분사각 및 공기 보조 유무에 관계없이 충돌 이전과 충돌 이후의 속도차가 흡입유동방향 거리에 따라 일정하게 유지되고 있음을 확인할 수 있다.

Fig. 8은 분사각  $45^\circ$ 에 대하여 흡입공기유동의 수직방향속도의 등속도선도를 분무 충돌이전과 이후에 대하여 나타내었다. 공기 보조가 없는 경우, 보다 넓은 영역에 걸쳐 벽면 충돌 이후 액적들이 튀어 오르고 있음을 알 수 있다. 공기 보조 유무에 관계없이 충돌 이전의 액적들의 수직속도

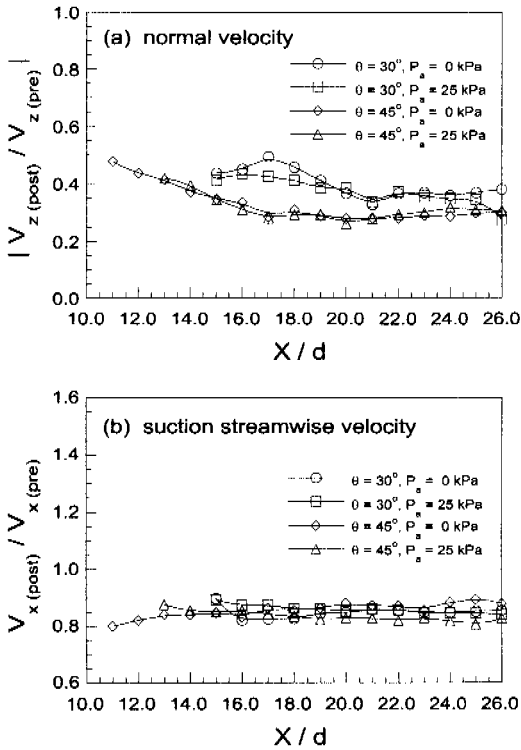


Fig. 7 Mean velocity ratio of pre- and post-impinging for spray centerline

는 분무의 횡방향에 따라 거의 균일한 분포를 보이며 흡입유동의 하류로 갈수록 앞서 고려한 것과 같이 흡입공기분류의 영향에 의해 수직속도가 점진적으로 감소하고 있다. 그러나, 충돌 이후 벽면으로부터 튀어 오르는 액적들의 수직속도는 측정위치에 따라서 다소 차이는 있지만 거의 유사한 크기를 보이고 있음을 알 수 있다.

3.2 액적 크기분포 및 SMD 분포

충돌 전후의 액적들의 크기분포를 고려하기 위하여 Fig.9에  $X/d = 18.0$ 의 분무 중심위치에서 액적크기의 수확률밀도분포를 나타내었다. (a)의 분사각  $30^\circ$ 의 경우, 공기 보조가 없을 때 충돌 이전은 약  $85\mu\text{m}$ 의 액적크기가 최대 빈도수를 나타내며  $150\mu\text{m}$  이상의 크기가 큰 액적들도 분포하고 있으나, 벽면 충돌 이후의 액적들은 대략  $25\mu\text{m}$ 의 액적 크기가 가장 많은 분포를 이루며  $60\sim 100\mu\text{m}$  범위의 비교적 크기가 큰 액적들도 분포하고 있다. 분사각이  $45^\circ$ 로 증가함에 따라 공기 보조가 없는 경우, 충돌 이후의  $20\sim 25\mu\text{m}$  범위의 작은 크

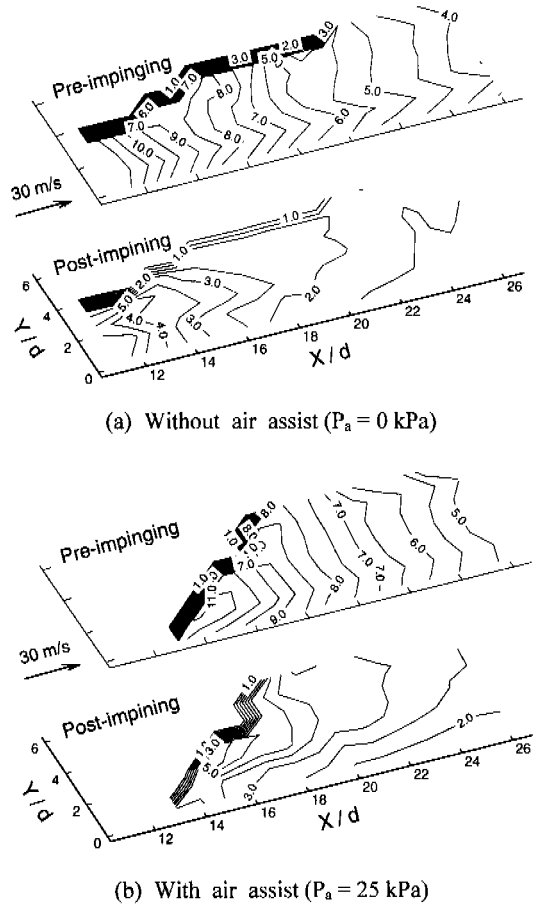


Fig. 8 Normal velocity contour for pre- and post-impinging ( $\theta = 45^\circ$ )

기의 액적들의 빈도수가 충돌 이전의 최대 빈도수를 보이는  $55\sim 60\mu\text{m}$  액적크기 보다 높게 나타나고 있으며, 분사각  $30^\circ$ 의 경우와 비교하여 상대적으로 작은 크기의 액적들의 분포가 증가하고 있다. (b)의 보조공기가  $25\text{kPa}$ 의 압력으로 공급되고 분사각  $30^\circ$ 인 경우, 충돌 이전에 존재하였던  $120\mu\text{m}$  이상의 큰 액적들은 보이지 않으며,  $40\sim 60\mu\text{m}$  정도의 액적크기가 최대 빈도수를 나타내고 있다. 충돌 이후의 액적들은 약  $30\mu\text{m}$ 의 액적들이 최대 분포를 이루고 있으며, 공기 보조가 없는 경우에 분포하였던  $60\sim 100\mu\text{m}$  범위의 액적크기는 나타나지 않았다. 분사각  $45^\circ$ 의 경우, 충돌 이후의 액적크기분포는 공기 보조가 없는 경우와 비교하여 액적의 빈도수에서 급격한 차이를 나타내고 있으며,  $60\mu\text{m}$  이상의 액적크기는 거의 나타나지 않고 있다. 충돌 이전은  $45\mu\text{m}$ 의 액적크기

가 최대 분포를 이루고 있고, 분사각 30°의 공기 보조가 있는 경우와 비교하여 액적의 빈도수는 약간의 차이는 있지만, 충돌 이전과 충돌 이후의 액적들의 분포는 거의 유사한 형태를 이루고 있다. 이들 결과로부터 벽면 충돌 이후 2차 미립화에 의해 대략 20~30 $\mu\text{m}$  크기를 갖는 액적들의 분포가 주를 이루며, 분사각이 큰 경우 보조공기의 공급이 이루어지면 미립화 향상으로 인하여 작은 크기의 액적들이 생성되어 흡입공기 유동을 잘 따르므로 분무선단의 충돌 지점이 흡입 유동방향 쪽으로 이동하고 작은 액적들이 벽면으로부터 받는 충돌력이 작아 벽면으로부터 튀어 오르는 액적들의 빈도수가 급격하게 감소함을 알 수 있다.

Fig. 10은 분무 중심선에서 분사각 45°로 분사되는 공기 보조 분무의 액적크기분포를 흡입유동방향 거리에 따라 충돌 이전과 이후의 액적들의 크기분포를 나타내었다. (a)의 충돌 이전의 경우, 흡입유동방향의 상류에서는 크기가 큰 액적들의 분포가 많으나, 흡입유동방향의 하류로 갈수록 작

은 액적들의 분포가 증가하고 있다. 이런 분포를 보이는 것은 작은 크기의 액적들일수록 흡입공기 유동을 보다 잘 따라가므로 보다 먼 흡입공기유동의 하류까지 이동하기 때문이다. 그러나, 충돌 이후인 (b)의 경우에는 흡입유동방향 거리에 관계없이 대략 20~30 $\mu\text{m}$  범위의 액적크기가 최대 빈도수를 이루고 60 $\mu\text{m}$  이상의 크기를 갖는 액적들은 거의 나타나지 않고 있다.

Fig. 11은 충돌 이전과 이후의 충돌 이전과 이후의 SMD 분포를 흡입유동거리에 따라 도시하여 충돌 전 후의 평균액적직경을 비교하였다. 분사각 30°의 그림 (a)에서 공기 보조가 없는 경우, 충돌 이전의 SMD는 흡입유동 상류에서 최대 145 $\mu\text{m}$ 의 크기를 보이며, 흡입유동의 하류로 진행함에 따라 점진적으로 감소하여 최소 75 $\mu\text{m}$ 의 SMD를 보이고 있다. 보조공기가 25kPa의 압력으로 주어지는 경우는 흡입유동 상류에서 약 95 $\mu\text{m}$ 의 SMD를 나타내며, 흡입유동의 하류로 갈수록 감소하

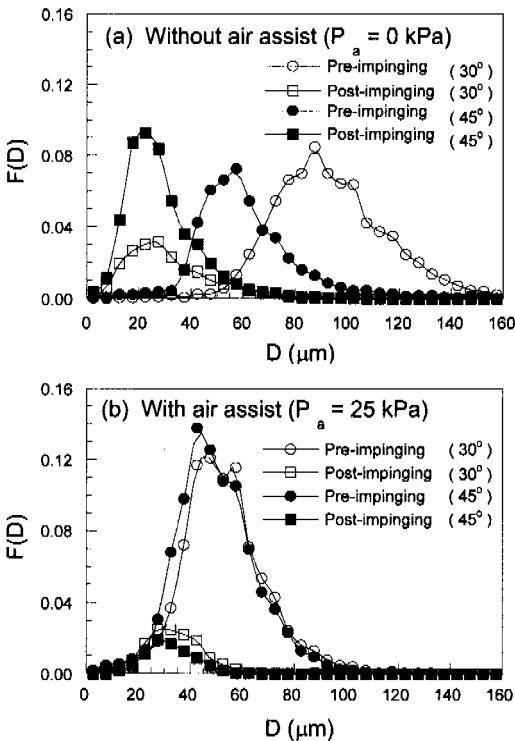


Fig. 9 Number probability density distribution of droplet size for pre- and post-impinging on the spray centerline,  $X/d = 18.0$

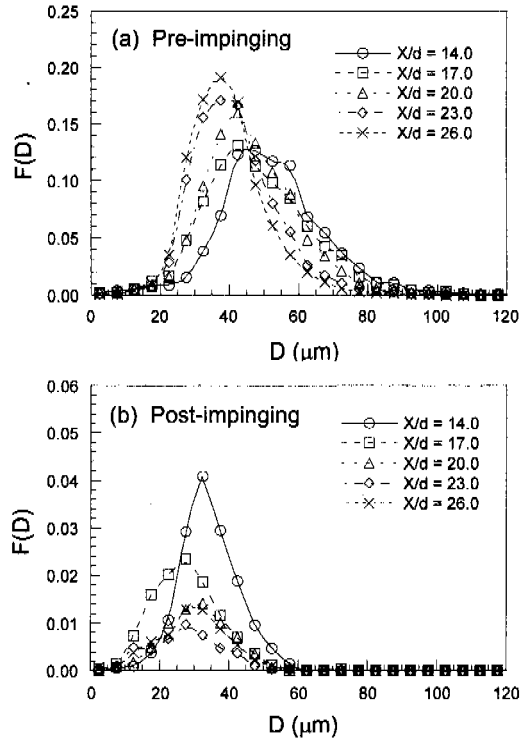


Fig. 10 Number probability density distribution of droplet size along suction streamwise distance for the spray centerline ( $P_a = 25$  kPa,  $\theta = 45^\circ$ )

여 약 55 $\mu\text{m}$ 의 SMD 크기를 나타내고 있다. 그러나, 충돌 이후 벽면으로부터 튀어 오르는 액적들은 공기 보조가 없는 경우, 분무 상류에서는 약 50 $\mu\text{m}$ 의 SMD 값을 갖고 흡입유동 하류에서는 대략 60 $\mu\text{m}$ 로 균일한 SMD 분포를 이루고 있다. 보조공기가 25kPa로 공급되면서 약 40 $\mu\text{m}$ 의 보다 작은 SMD를 나타내고 있다. 그림 (b)의 분사각 45° 경우, 공기 보조가 없을 때 충돌 이전의 액적들은 흡입유동의 상류에서 약 130 $\mu\text{m}$ 의 SMD를 나타내고, 공기 보조의 경우 약 80 $\mu\text{m}$ 의 SMD 값을 보이며, 흡입유동의 하류로 갈수록 점진적으로 SMD 값은 감소하고 있다. 그러나, 충돌 이후의 액적들은 공기 보조가 있는 경우와 공기 보조가 없는 경우, 대략 35 $\mu\text{m}$ 와 45 $\mu\text{m}$ 의 SMD를 각각 나타내고 있다. 따라서, 분사각 30°의 공기 보조가 없는 경우, 흡입유동의 상류에서 충돌 이후 벽면으로부터 튀어 오르는 액적들은 충돌 이전의 SMD의 35%로 65%의 SMD 감소를 보이며, 공기 보조가 있는 경우는 58%의 SMD 감소를 나타내고 있다. 분사각 45°이고 공기 보조가 없는

경우는 흡입 유동의 상류에서 충돌 이후의 액적들은 67%의 SMD 감소를, 공기 보조가 있는 경우는 59%의 SMD 감소를 보였다.

분무 충돌 벽면 근처의 평면에서 충돌 이전과 이후의 SMD 분포를 Fig. 12에 도시하였다. 충돌 이전의 액적들은 분무의 외곽영역에서 높은 SMD 분포를 나타내고 있으며, 충돌 이후 벽면으로부터 튀어 오르는 액적들은 2차 미립화에 의해 거의 균일한 크기의 작은 SMD 분포를 보이고 있다. 따라서, 분무 중심영역보다는 분무 외곽영역에서 분무의 벽면 충돌에 의한 2차 미립화 현상이 뚜렷하게 보이고 있음을 알 수 있다. 또한, 공기보조가 없는 경우, 충돌 분무의 외곽영역에서 벽면 충돌 이후 액적들의 SMD 분포가 충돌 이전보다 큰 차이로 감소함으로써 분무 충돌에 의한 2차 미립화의 영향이 크게 작용하고 있다.

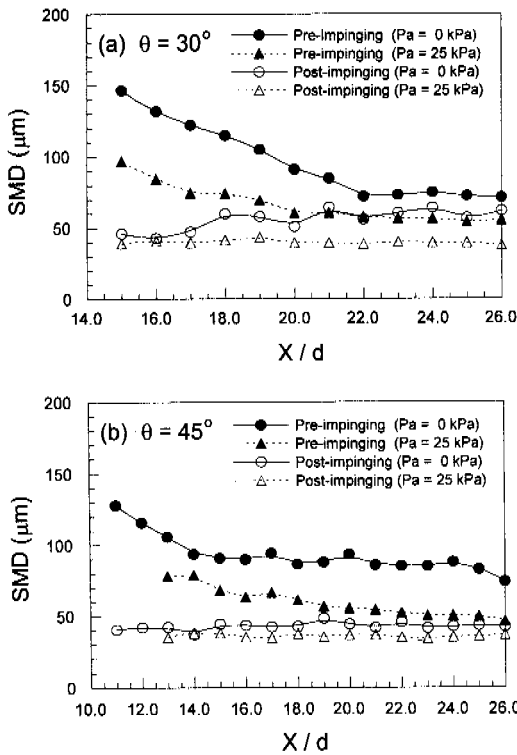
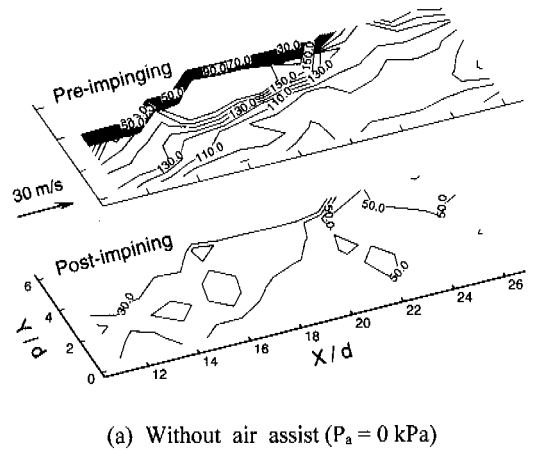
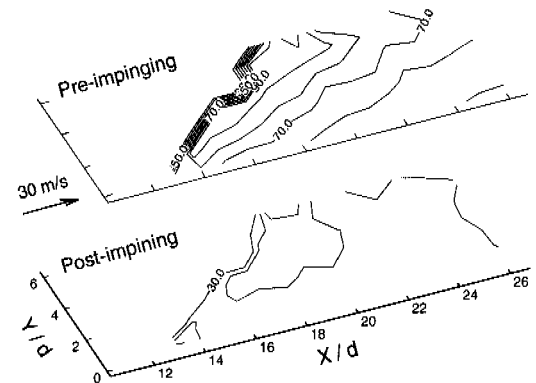


Fig. 11 SMD distribution of pre- and post-impinging for spray centerline



(a) Without air assist ( $P_a = 0$  kPa)



(b) With air assist ( $P_a = 25$  kPa)

Fig. 12 SMD contour for pre- and post-impinging ( $\theta = 45^\circ$ )



#### 4. 결론

흡입유동 중 분무의 충돌 벽면에 근접한 영역에서 PDPA 측정결과로 얻어진 흡입공기유동방향에 대한 양과 음의 수직속도분포로부터 충돌 이전과 이후 액적들로 분류하고 이들의 유동특성을 고찰한 결과 다음과 같은 결과들을 얻었다.

(1) 분무 중심영역의 충돌벽면 근처에서 충돌 이전과 이후의 액적들의 수직방향속도의 크기는 흡입유동방향이 증가함에 따라 흡입공기의 영향으로 점진적으로 감소하였고, 흡입유동방향속도는 증가하는 경향을 보였다.

(2) 벽면 충돌 후 튀어 오르는 액적들의 수직방향속도 크기는 충돌 이전의 25~55% 범위를 보였으며, 분사각이 클수록 다소 크게 나타났으나 보조 공기의 공급 유무에는 큰 차이가 없었고, 흡입유동방향속도는 충돌 이전의 80~90%를 나타내었으며 분사각과 공기보조의 공급유무에 무관함을 보였다.

(3) 공기 보조가 없는 경우 분사각은 충돌이전과 이후의 액적크기분포에 큰 영향을 주었으나, 공기가 보조되면서 이들의 영향은 반감되었으며, 미립화 향상에 의해 상대적으로 작은 운동량을 갖는 액적들 때문에 벽면 충돌 이후 튀어 오르는 액적들은 감소하였다.

(4) 흡입유동의 상류에서 벽면 충돌에 의한 2차 미립화로 인하여 충돌 이후 액적들의 SMD가 충돌전 보다 58~67% 감소하였고, 분무의 외곽영역에서 공기보조가 없고 분사각이 클수록 SMD의 감소가 크게 나타났다.

#### 참고문헌

(1) Kelly-Zion, P. L., Deyoung, C. A., Peters, J. E., and White, R. A., 1995, "In-Cylinder Fuel Drop Size and Wall Impingement Measurements," *SAE 952480*, pp. 1~12.  
 (2) Iwano, H., Jaitoh, M., Sawamoto, K., and Nagaishi, H., 1991, "An Analysis of Induction Port Fuel Behavior," *SAE 912348*, pp. 1777~1786.

(3) Fox, J. W., Min, K. D., Cheng, W. K., and Heywood, J. B., 1992, "Mixture Preparation in a SI Engine with Port Fuel Injection During Starting and Warm-up," *SAE 922170*, pp. 1088~1099.  
 (4) Furuyama, M. and Minowa, E., 1994, "Visualization of Intake Port Wall Flow of 4-valve Engines," *JSAE 9432075*, Vol. 25, No. 2, pp. 5~10.  
 (5) Arcoumanis, C., Whitelaw, D. S., and Whitelaw, J. H., 1997, "Gasoline Injection against Surface and Films," *Atomization and Sprays*, Vol. 7, pp. 437~456.  
 (6) Kihm, K. D., Lyn, G. M., and Son, S. Y., 1995, "Atomization of Cross-injecting Sprays into Convective Air Stream," *Atomization and Sprays*, Vol. 5, pp. 417~433.  
 (7) Wagner, R. M., Nemecek, L. M., and Drallmeier, J. A., 1997, "Fuel Delivery in a Port Fuel Injected Spark Ignition Engine," *Atomization and Sprays*, Vol. 7, pp. 629~648.  
 (8) Brenn, G., Domnick, J., Dorfner, V., Durst, F., and Tremel, P., 1995, "Unsteady Gasoline Injection Experiments: Comparison of Measurements in Quiescent Air and in a Model Intake Port," *SAE 950512*, pp. 1~11.  
 (9) Nemecek, L. M., Wagner, R. M., and Drallmeier, A., 1995, "Fuel Droplet Entrainment Studies for Minimization of Cold-Start Wall-Wetting," *SAE 950508*, pp. 1~11.  
 (10) Nagaoka, M., Kawazoe, H., and Nomura, N., 1994, "Modeling Fuel Spray Impingement on a Hot Wall for Gasoline Engines," *SAE 940525*, pp. 878~896.  
 (11) 노병준, 강신재, 김원태, 1999, "공기보조형 가솔린 연료분사기의 흡기포트내 연료분무 거동에 관한 연구," 대한기계학회논문집 B권, 제23권 제1호, pp. 92~103.  
 (12) Lee, S. G., Kim, W. T., Rho, B. J., and Kang, S. J., 1998, "Fuel Spray Characteristics Impinging onto the Wall Surface," *Proc. of 4th KSME-JSME Fluids Eng. Conf.* pp.557~560.  
 (13) Kim, W. T., Lee, S. G., Rho, B. J. and Kang, S. J., 1998, "On the Intermittent Spray Characteristics," *KSME International Journal* Vol. 12, No. 5, pp. 907~916.