

보조 공기 압력 변화에 따른 인젝터의 분무 특성에 관한 연구

A Study of Spray Characteristics of Injector on the Air-assisted Pressure Variation

윤 수 한*
S. H. Yoon

ABSTRACT

In the gasoline engine of fuel injection type, atomization of fuel droplet and its distribution has directly influenced the performance of engine and harmful emission. To investigate atomization characteristics of fuel spray, in this paper, fuel spray of air-assisted injector is observed at the various initial conditions of ambient air temperature and air assisted pressure. Behavior of fuel spray is photographed with microscopic visualization system. The SMD of fuel droplet is measured with PMAS (Particle Motion Analysis System). The effect of air-assisted pressure and temperature of ambient air resulted in the decrement of SMD and its variation. Finally, It was found that It was found that from spray angle at the two-hole injector had measured 20 ± 4 degree the result of photographs by shadow graphy. The mean diameter of sprays decreased and the of droplets increased with increasing the temperature in the spray fields by the results of PMAS measurement. It was found that the characteristics of sprays became finer by increasing the temperature of spray fields about 373K without the delivery of air-assistance.

주요기술용어 : Fuel Injection(연료분사), Atomization(미립화), Air-assist(공기보조분사), Particle Motion Analysis System(입자운동해석장치), Sauter Mean Diameter(자우타 평균입경), Image Processing(화상처리)

1. 서 론

세계적으로 환경 오염 물질에 대한 관심의 고조와 함께 자동차로부터 배출되는 유해 배기 물질에 대한 규제가 엄격해지고 있다. 이러한 요구에 대응하기 위한 연구로서 Breuer등⁽¹⁾은 인젝터로부터 분사된 연료의 일부는 흡기 대기관의 내벽, 흡기밸브 및 연소실 벽면에 부착된다는 연구결과를 발표한 바 있다. 이와 같이 벽류 현상에 의해 벽면에 부착된 연료는 궁극적으로 불완전 연소를 초래하고 미연 탄화수소(HC)상태로 배출되어 공해를 유발하는 요인이 된다.

따라서, 저공해 및 저연비 기관의 개발을 위해서는 인젝터의 분무 특성 개선과 동시에 벽류량을 최소화 할 수 있는 연료공급의 기술 개발이 요구된다. 이에 따라 스톱 밸브 전과 후의 압력 차를 이용하여 인젝터에 공기를 공급함으로써 연료의 미립화를 향상시키는 공기 보조 가솔린 인젝터의 연구가 활발히 진행되고 있다.⁽²⁻³⁾

연료입자의 미립화 촉진을 위한 방법으로는 연료의 분사시 공기를 보조 분무하는 2유체분사 방식이나 초음파 분무기(ultrasonic atomizer), 충돌 무화 방식(impinging spray) 등을 이용하여 연료분무 역적의 2차 미립화를 도모하고 있다.⁽⁴⁻⁶⁾

그 외에도 분무각도와 분무입경, 분무의 분산과

* 동명대학

정 등과 같은 분무특성의 영향도 예혼합기의 형성 과정에 있어서 매우 중요한 문제이기 때문에 흡기다기관 내 연료분사시 벽류를 최소화하기 위한 최적의 분사조건과 인젝터의 분무 특성에 대한 연구도 필요하다.⁽⁷⁾

그러나, 아직도 인젝터의 설계 인자에 따른 분무형상과 분무특성을 명백하게 파악한 연구는 미흡한 상태이다.

따라서, 본 연구에서는 air-assist 인젝터에서 기술된 연료의 분무특성과 기화특성을 개선하고 이의 확인을 위해 입자운동해석장치(particle motion analysis system unit; PMAS)를 사용하여 보조공기의 압력, 주위온도변화에 따른 분무거동을 CCD 카메라를 이용하여 측정하였다. 이를 통해 분사역적의 화상, 평균입경, 수밀도 등을 측정하여 분무거동 특성에 대해 밝혔다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에 사용한 실험장치의 개략도를 Fig.1에 나타낸다. 실험장치는 용기, 연료 공급장치, 보조공기 공급장치, 온도조절장치, 가시화장치, 제어 및 계측장치로 구분된다.

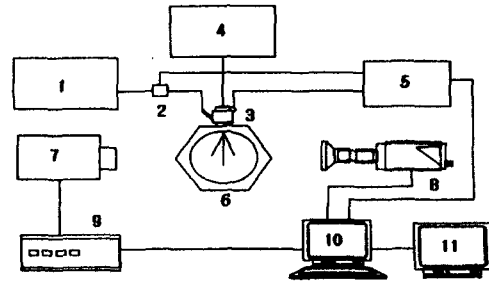
인젝터에 공급되는 연료는 연압조정기에 의하여 0.31MPa로 일정압력을 유지하고, 보조공기는 공기압축기를 통하여 가압된 후 설정조건인 압력으로 제어된 공기를 인젝터에 공급한다.

각 부분의 제어는 4 Channel Delay Control Board로부터 출력되는 신호를 기준 신호로 사용하여 연료 분사시기와 보조공기 공급시기의 제어는 실험조건에 따라 동기화 또는 지연 및 진각이 가능하도록 하기 위하여 제어용 보드를 제작하여 사용하였다.

Fig.2는 보조공기의 공급이 가능한 상용의 2-hole 2-spray타입의 인젝터로서 연료분사압력은 0.31MPa이다. 연료의 분사시간은 실험조건에 따라 2~7.5ms 범위로 하였다.

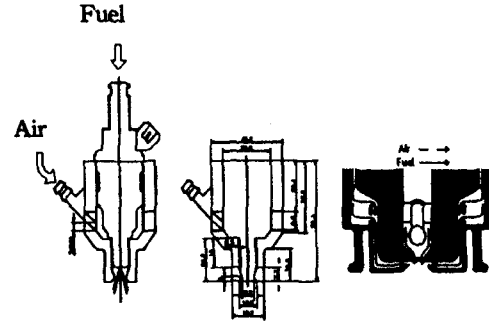
Fig.3은 인젝터로부터 분사되는 연료의 입자 거동 계측을 위하여 설정한 측정 점들의 위치를 나타낸 것이다.

Fig.4는 보조공기의 공급을 위한 솔레노이드와



- 1. Air compressor
- 2. Solenoid valve
- 3. Fuel injector
- 4. Fuel tank
- 5. Controller
- 6. Chamber
- 7. Light source
- 8. CCD camera
- 9. Trigger sync.
- 10. Computer
- 11. Monitor

Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus



(a)Air-assisted injector (b)Air-assisted adaptor

Fig.2 Drawing of air-assisted injector

연료공급용 인젝터의 구동 및 이미지 데이터의 취득을 위한 CCD 카메라와 광원의 제어에 사용된 제어용 타임 차트의 한 예를 표현한 것이다.

각 부분의 제어는 제어용 보드로부터 출력되는 신호를 보조공기 공급용 솔레노이드 밸브에 인가하는 시점을 기준신호로 하여 제어하였다.

연료의 분사개시 시점은 기초실험을 통하여 분무의 선단이 밸브면에 도달하는 시각과 보조공기의 공급 영향이 분무 전체에 미치는 영향 및 인젝터와 솔레노이드의 동작지연 등을 고려하여 결정하였다. 즉, 보조공기의 공급이 인젝

터 선단으로 공급되는 시점을 확인한 후 동시 분사시키기 위해 일정 시간의 on delay 제어를 행하였다.

또한, 팽원은 설정 위치에서 동작신호를 출력할 수 있도록 제어하였다. 이와 같이 시간관계(time chart)를 적용한 이유는 일정 시간대에서의 데이터를 취득하기 위함이다

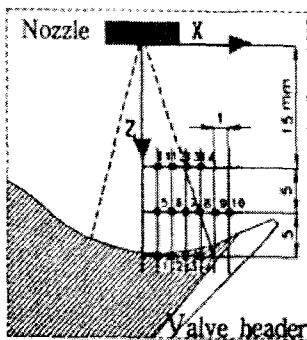


Fig.3 Schematic diagram of measuring location

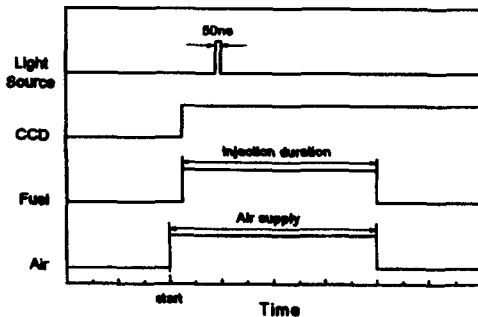


Fig.4 Time chart for injection, air supply and image capture

3. 결과 및 고찰

3.1 거시적 측정결과

분무형상 및 분무각 등을 거시적으로 촬영하기 위하여 초점거리가 105mm인 렌즈를 스틸카 카메라에 장착하였고, 카메라 전면에는 광량을 조절하는 ND필터를 장착하여 동일한 조건에서 실험을 행했다. 조리개가 개방된 상태에서 팽원의 방전시기를 제어하여 출력하면 설정시간 동안 화상을 얻을 수 있다.

Fig.5는 공기보조 인젝터의 분무특성 확인을

위하여 보조공기의 공급압력에 따라 각 시간 영역 대에서 촬영한 화상들을 나타낸 것이다.

모든 조건에서 분사 개시 신호를 인가한 후 1.7ms 이후의 영역에서부터 분사가 가능함을 촬영 결과로부터 확인하였다

분무의 성장과정이 육안으로 확인 가능한 시기인 분사개시 신호 후 2.0ms에서부터 0.4ms 간격으로 나타내었다.

각 사진은 분사용기의 공기온도가 293K, 보조공기의 공급압력을 0kPa, 30kPa, 60kPa, 90kPa, 120kPa로 변화시켜 기/액 유량비를 선형적으로 증가시킨 경우로서 외부혼합에 의한 미립화 촉진 특성을 나타낸 것이다.

분무입자의 크기는 보조공기의 공급압력이 0kPa인 경우에 비하여 공급압력이 증가함에 따라 초기부터 보조공기와 의 충돌에 의한 영향으로 액적군이 현저히 미립화가 되는 것을 볼 수 있다.

또한, 인젝터로부터 분출되는 연료의 분무각을 계속하기 하기 위하여 실물 투영기(profile-projector, mitutoyo, PJ-230H)를 이용하였다. 거시적 촬영을 통하여 얻어진 화상을 투영기로 확대하여 계속한 결과 보조공기의 압력에 따라 다소 차이는 있지만 $20^{\circ} \pm 4^{\circ}$ 의 분무각을 확인하였다.

Fig.6은 공급된 보조공기가 분무속도에 미치는 영향을 확인하기 위해서 인젝터 선단으로부터 25mm영역까지 분무 입자가 도달하는 시간을 나타낸 것이다.

주어진 조건에서 보조공기의 공급압력이 0kPa, 30kPa, 60kPa, 90kPa, 120kPa,으로 증가함에 따라 도달 소요 시간이 1.2ms, 0.8ms, 0.75ms, 0.6ms, 0.35ms,로 감소함을 확인 할 수 있었다.

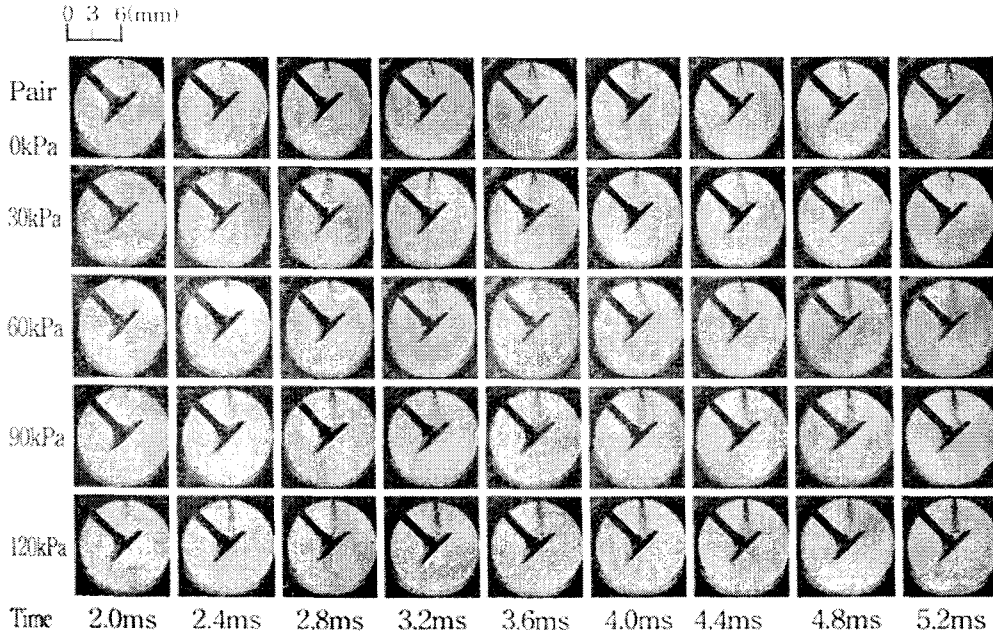
이는 보조공기의 공급압력이 Fig.5 에서도 볼 수 있는 바와 같이 분무입자의 관통도에 큰 영향을 미침을 확인 할 수 있었다.

Fig.6의 결과로부터 계산된 분무속도를 Fig.7에 나타내었다.

따라서, 본 실험의 영역에서는 인젝터에 공급되는 보조공기의 공급압력이 증가함에 따라 분무속도는 대체로 선형적으로 증가함을 확인할 수 있다.

3.2 PMAS에 의한 분무 입경 측정

거시적 촬영을 통해 주위 분위기온도 및 보조공기압력에 의한 분사가 분무의 미립화에 기



Chamber temp : 293K

Fig.5 Macroscopic visualizations of air-assisted injector with the lapse of injection time

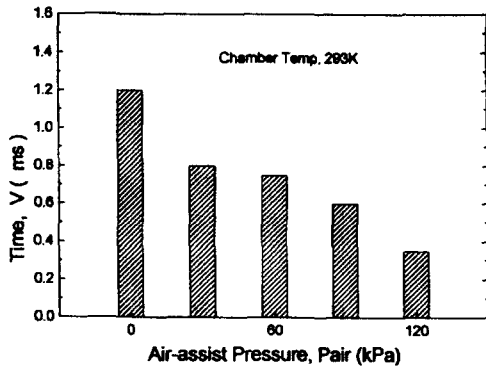


Fig.6 Relationship between collision time and air-assisted pressure

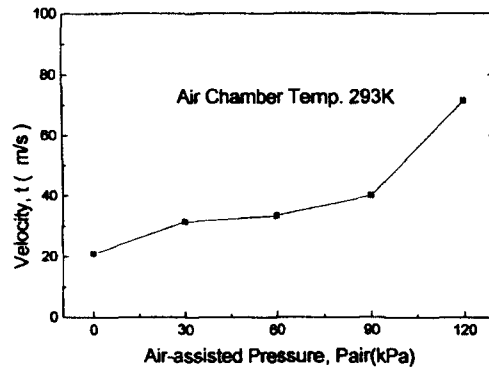


Fig.7 Droplet velocity versus air-assisted pressure at the penetration length 25mm

여하는 효과를 확인할 수 있었으며, 실제 응용에 대해서는 분무각과 액적의 크기 및 분무도달거리 등의 영향을 파악할 수 있었다. 이를 기초로 하여 미시적 분무의 거동 분석을 통하여 연료입자의 분열과정, 액적의 크기 및 액적수밀도 등을 계측하였다.

CCD카메라를 사용하여 동일위치, 동일조건에서 10회씩의 이미지를 취득하고 이미지 처리를

행한 결과 각각의 분무에 대한 자우타 평균 입경(SMD)을 계측하였다.

액체 연료는 분사기구 및 장치에 의해 액적(droplet), 분류(fuel jet) 및 액막(liquid sheet) 등의 형태로 나타나고, 이들은 내력과 외력의 작용 및 외부의 유동과 분위기 조건 등에 따라 보다 작은 입자로 붕괴된다.

이와 같은 붕괴 과정을 분열(break up)이라고 하고, 분열된 입자가 흩어지는 것을 분산(dispersion)이라고 한다. 그리고 분열의 결과로 생성된 입자가 액적운(droplet clouds)을 형성하는 과정을 미립화(atomization)라고 하며, 특히 공기를 분산 매체로 한 액적운을 분무라고 한다.

노즐로부터 분사된 연료는 입자의 분열과 재결합이 거듭되는 상당히 복잡한 과정으로 이루어진다.

Fig.8은 인젝터의 분무 과정에 있어서 분사초기 및 말기의 시간 경과에 따른 분무의 형태를 나타낸 것이다.

그림은 인젝터 팁 선단에서 CCD카메라를 사용하여 촬영한 원시화상(raw image)을 모니터로부터 출력한 것으로 화상의 가시면적은 $3.3\text{mm} \times 2.5\text{mm}$ 이다. 보조공기의 공급이 없는 경우에 분사시간을 2ms로 하여 분사개시 후 0.2ms 간격으로 촬영한 것이다.

분사개시 신호의 인가 후 인젝터 구동용 솔레노이드의 자장이 형성되고 복귀용 스프링의 장력을 극복하는데 소요되는 일정기간의 지연을 거치고 2.0ms 영역에서 인젝터의 니들(needle)이 들리면서 연료의 분무가 시작됨을 볼 수 있다. 2.8ms 이후의 시간 영역에서 니들이 완전히 열려 2개의 액주가 형성되는 과정을 확인할 수 있다.

이후 시간대에서 분무의 형태는 점차 안정된 모습을 보이며, 일정 분사각을 유지하는 현상을 볼 수 있다.

또한, 액주에서 액적으로 미립화 되는 과정 중의 액사(ligament)의 형성과정도 관찰할 수 있다. 4ms 이후 인젝터에 인가하는 전류가 차단되고 난 후 니들이 내려오면서 연료량이 줄어들고 마침내 분사가 종료되는 것을 알 수 있으며, 1ms 정도 니들이 복귀 하는데 소요되는 시간이 필요하였다.

Fig.9는 Fig.8과 동일조건에서 보조공기의 공급이 초기분사에 미치는 영향을 확인하기 위하여 나타낸 것으로 보조공기의 공급압력이 60kPa인 조건의 원시화상이다.

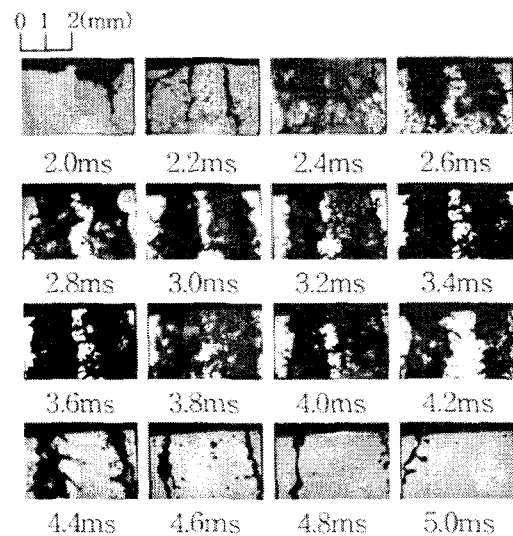
그림에서 볼 수 있는 바와 같이 보조공기의 영향으로 분사초기부터 분열된 액적이 형성됨을 볼 수 있다. 이후 시간대에서도 2개의 액

주 주위에 많은 액사와 액적이 존재함을 보인다. 이러한 액적운의 증가 현상을 고려할 때, 보조공기의 공급은 분사초기부터 액체연료의 분열을 촉진시키는 것으로 판단할 수 있다.

또한, 보조공기의 공급이 없는 경우에 비하여 분무각이 다소 커지는 현상을 볼 수 있는데, 이는 보조공기의 유입에 따른 분무체적의 증가가 그 원인인 것으로 판단된다.

즉, 분무각은 노즐 분공의 지름과 분사압력의 세기에 직접적인 영향을 받는데, 분사압력이 증가하면 분무 주류방향과 수직한 맥동류의 난류강도가 강하게 되므로 결과적으로 분무각이 커지게 되는 것으로 보인다.

Fig.10은 인젝터로부터 분사된 연료분무의 거동



Time lapse from fuel injection

Chamber temp.: 293K

Air-assisted pressure: 0kPa

Fig.8 Time history of initial spray development at injector tip

을 확인하기 위하여 분사방향에 대한 수직위치에서의 SMD를 측정한 결과이다.

그림에서 볼 수 있는 바와 같이 보조공기의 공급압력이 0kPa에서 120kPa의 증가할수록 SMD가 감소하는 경향을 확인할 수 있다. 또한, 용기 내의 분위기온도가 373K인 조건이 293K인

경우에 비하여 전반적으로 SMD가 감소하는 경향을 보이고 있다. 한편, 분위기 온도가 373K인

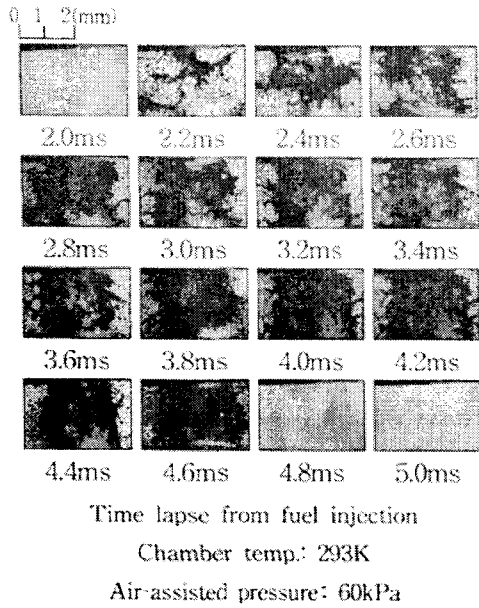


Fig.9 Time history of initial spray development at injector tip

조건에서는 보조공기압력이 30kPa 이후 SMD가 보조공기의 압력변화에 무관하게 일정한 값을 보인다. 이러한 결과는 연료가 분무되는 용기 내의 분위기 온도가 증가함에 따라 상대적으로 연료입자의 기화가 촉진되는 현상에 기인한 것으로 볼 수 있으며, 이러한 현상으로 미루어 볼 때, 분무장의 분위기 온도가 증가 될수록 양호한 분무특성을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

Fig.11은 인젝터 선단으로부터 20mm 떨어진 영역에서 분사방향에 대한 수평방향의 각 측정점에서의 SMD를 측정한 결과이다.

그림은 보조공기를 공급하지 않는 경우와 공급압력이 120kPa인 경우이다.

보조공기의 공급이 없는 경우 SMD는 60~80 μm의 값을 보이는 반면 보조공기의 공급압력이 120kPa인 조건에서는 SMD가 40~50μm로 미립화 됨을 알 수 있다. 또한 보조공기의 압력에 따라 분무입경의 변동폭이 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

또, Fig.10의 경우와 같이 보조공기의 공급압력이 0kPa, 120kPa의 두 경우 모두 온도가 증가함에 따라 SMD가 감소함을 보여준다. 이는 분위기온도가 연료의 기화를 촉진시켰기 때문으로 판단된다.

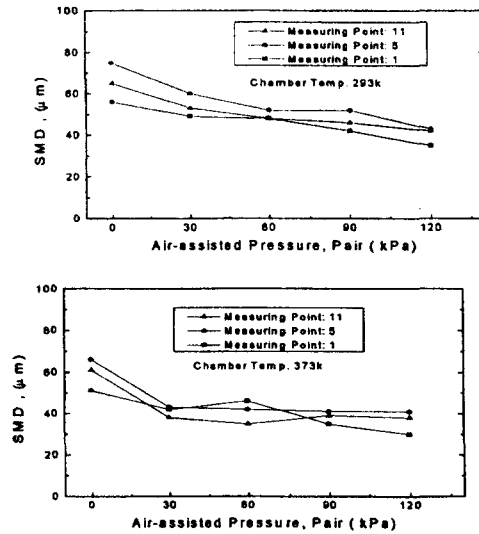


Fig.10 SMD variation vs. air-assisted pressure at the measuring points

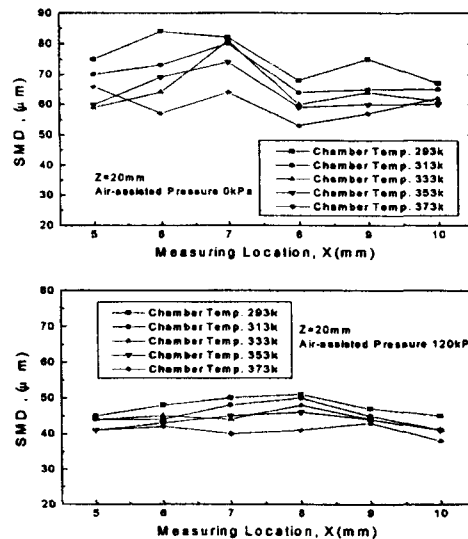


Fig.11 SMD variation vs. air temp. at the measuring points

Fig.12는 Fig.11과 동일한 위치에서 연료 액적의

수밀도를 계속한 결과이다.

보조공기의 공급이 없는 경우에 비하여 보조공기의 공급압력이 120kPa인 경우의 액적수밀도가 현저하게 증가하는 현상을 보이며, 또 용기 내의 온도가 373K의 경우가 293K에 비해서 보조공기의 공급이 있는 조건에서 수밀도가 많은 것을 보인다.

이러한 현상은 주위 유동장의 속도가 증가함에 따라 연료와 주위 공기와의 충돌에 의한 미립화가 촉진된다. 또 분위기온도의 증가는 연료의 기화를 촉진시켜 보조공기의 공급을 돕게되므로 수밀도가 증가하는 것으로 생각된다.

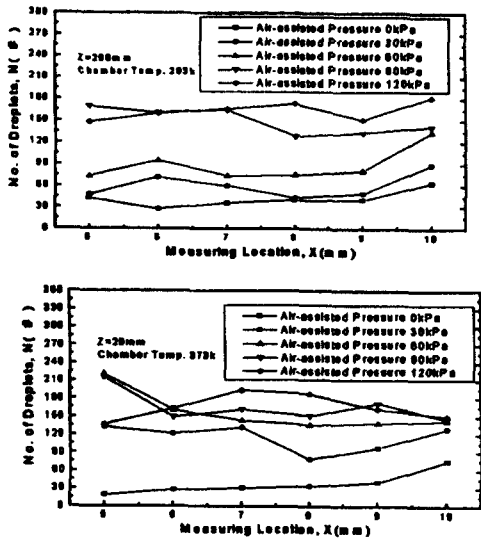


Fig.12 Relationship between air temp. and number of droplets at the measuring location

4. 결 론

가솔린 기관용 Air-assisted 인젝터에 보조공기 공급장치를 설계·제작한 후 장착하여 인젝터의 보조공기압력을 변화시키면서 PMAS를 사용하여 분무 거동을 해석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 방전 광원을 사용한 Shadow graphy 기법을 이용하여 인젝터의 분무에 대한 거시촬영을 실시한 결과 2hole-2spray의 인젝터는 보조공기의 압력에 따라 다소 차이는 있지만 20°

±4°의 분무각이 계속되었다.

2. 보조공기의 공급압력의 증가는 분무입자의 미립화를 촉진시키며, 분무속도를 증가시켰다.
3. 분위기온도의 증가는 연료의 기화를 촉진시켜 SMD를 감소시키며 수밀도를 증가시켜 양호한 분무 특성을 얻을 수 있었다.
4. 전반적으로 보조공기의 공급압력이 증가함에 따라 SMD 감소가 두드러지게 나타나며, 분무입경의 변동 폭이 줄어드는 현상을 볼 수 있었다.

5. 참 고 문 헌

1. H.j. Beuber, H. Endres, and M. Breuer, "New Variable Intake and Mixture Formation System for Multi-Valve S.I Engines", 1994, SAE paper No.940449.
2. N. Namiyama, H. Nakamura, K. Kokubo and D. Hosokai, "Development of Air-Assisted Injector System", 1992, SAE Paper 920294.
3. K. Harada, R. Shimizu, K. Kurita, M. Muramatsu, T. Makimura, M. Ohashi, "Development of Air-Assisted Injector System", 1992, SAE Paper 920294.
4. T. Noki, Y. Ohyama and M. Fujieda, "Study on the Intermittent Impinging Atomization of Fuel Injector for Gasoline Engine", Trans. JSME, Vol. 58, No. 552, 1992, pp. 2607~2611.
5. 조병욱, 조행목, 이창식, "다공스로틀밸브가 혼합기 유동과 연료분무의 2차 미립화에 미치는 영향", 한국액체미립화학회지, 제1권, 제3호, 1996, pp.60~66.
6. 오영택, 문영호, 최승훈, 김정기, 김준수, "공회전시 가솔린 기관의 배기가스 저감과 시동성능 개선에 관한 연구", 한국자동차공학회 추계학술대회 논문집, No. 97380268.
7. Fu-Quan Zhao, et al., "The Spray Characteristics of Automotive Port Fuel Injection-A Critical Review", SAE No.950506.